

**“ESTUDIO TÉCNICO Y ECONÓMICO DE DOS TECNOLOGÍAS DE
POTABILIZACIÓN DE AGUA IMPULSADAS POR ENERGÍAS RENOVABLES EN EL
MUNICIPIO DE MANAURE – LA GUAJIRA”**

Autor:

Daniela Andrea Ojeda Hernández



**UNIVERSIDAD DE LA COSTA, C.U.C
FACULTAD DE CIVIL Y AMBIENTAL
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL
BARRANQUILLA**

2020

**“ESTUDIO TÉCNICO Y ECONÓMICO DE DOS TECNOLOGÍAS DE
POTABILIZACIÓN DE AGUA IMPULSADAS POR ENERGÍAS RENOVABLES EN EL
MUNICIPIO DE MANAURE – LA GUAJIRA”**

Autor:

Daniela Andrea Ojeda Hernández

Asesor:

FAUSTO CANALES VEGA

Co – Asesor:

CÉSAR CÁRDOMA ALMEIDA

**TRABAJO DE GRADO PARA OPTAR AL TITULO DE
INGENIERO CIVIL**

UNIVERSIDAD DE LA COSTA, C.U.C

FACULTAD DE CIVIL Y AMBIENTAL

PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL

BARRANQUILLA

2020

Nota de aceptación

Firma presidente del Jurado

Firma de jurado

Firma de Jurado

Barranquilla, 2020

Dedico este trabajo de grado:

A **DIOS**, por darme la vida, por ser mi guía, mostrando e iluminando siempre el camino correcto, por ser mi fortaleza en los momentos de desánimo y mi roca firme en las turbulencias, por ser mi mejor amigo y compañía, y por todas las bendiciones que ha derramado en mi vida, mi familia y mis amigos.

A **MI MAMÁ**, Betty, por estar siempre a mi lado apoyándome, dándome ánimos, aconsejándome, brindándome todos los recursos necesarios para llevar a cabo mis proyectos, por la comprensión paciencia y especialmente por su amor que me da fortaleza para ser una luchadora, por sus sacrificios y esfuerzos, por su ternura y amor incansables. Gracias mamá por tus sabios consejos, por preocuparte siempre de mí y estar a mi lado cada día de mi vida.

A **MIS HERMANOS**, Jean, Alan por el cariño y aprecio que en los momentos de compañía siempre me brindaron, gracias por ser mi inspiración y motivo para seguir adelante.

A **MIS FAMILIARES**, Sobrinos, Primos, Tíos y demás familiares, pero especialmente a mis abuelos, porque siempre has estado fuerza y ánimo para salir adelante y también aportando su granito de arena en mi vida.

Agradecimientos

Quiero primeramente agradecerle A DIOS por habernos iluminado, acompañado y regalado las facultades y perseverancias necesarias para emprender y culminar este ciclo de mi vida, seguidamente a agradecerle a mi madre por su apoyo incondicional, valiosos consejos, amor incondicional. A la universidad por la oportunidad brindada, A todo el cuerpo de Docentes del Programa Ingeniería Civil pero especialmente al profesor Fausto Canales por su orientación, sus conocimientos compartidos, su tiempo, paciencia, dedicación y amables explicaciones y todos los docentes que contribuyeron en mi proceso de formación.

Resumen

El agua, por su valor e importancia para la humanidad se considera el recurso más valioso con el que se cuenta. Colombia ha presentado grandes transformaciones en cuanto a su tratamiento, manejo y distribución del recurso, buscando la forma de adaptarse e a cumplir con la demanda actual y futura frente a las situaciones críticas de escasez por la que atraviesan las poblaciones más vulnerables del país, un caso particular es el municipio de Manaure– La Guajira. Los problemas de sequías, bajos volúmenes de precipitaciones anuales y la sobreexplotación de recursos hídricos han provocado que, en el municipio de Manaure, se originen estrategias y se planteen proyectos de investigación. Lo cual da paso al desarrollo del objetivo de nuestro trabajo que es comparar la factibilidad técnica y económica de dos tecnologías de potabilización del agua impulsadas por energías renovables en el municipio de Manaure-Guajira; con el cual se pretende encontrar una solución óptima para la obtención de agua apta para el consumo humano. Este proyecto genera beneficios en cuanto a la población del municipio de Manaure quienes se afectarán positivamente a nivel económico, sanitario y ambiental por lo tanto ya no habrá escasez de agua en el municipio, ya que la fuente de alimentación de agua es inagotable y esto permitirá que su población sustente cada día su consumo en excelentes condiciones para un mejor estilo de vida.

Palabras claves: Potabilización, Condensación, Desalación, Radiación Solar, Energía Eólica

Abstract

Water, due to its value and importance for humanity, is considered the most valuable resource available. Colombia has undergone major changes in terms of treatment, management and distribution of the resource, seeking ways to adapt to meet current and future demand in the face of critical situations of scarcity that the most vulnerable populations in the country are facing, a particular case is the municipality of Manaure - La Guajira. Drought problems, low annual rainfall volumes and overexploitation of water resources have led to the creation of strategies and research projects in the municipality of Manaure. This gives way to the development of the objective of our work, which is to compare the technical and economic feasibility of two water purification technologies powered by renewable energies in the municipality of Manaure-Guajira; The aim is to find an optimal solution to obtain water suitable for human consumption. This project generates benefits in terms of the population of the municipality of Manaure who will be positively affected at an economic, sanitary and environmental level, therefore there will no longer be a shortage of water in the municipality, since the water supply is inexhaustible and this will allow that its population supports its consumption every day in excellent conditions for a better lifestyle.

Keywords: Potabilization, Condensation, Desalination, Solar Radiation, Wind Energy

Contenido

Lista de tablas y figuras	10
Introducción	13
Justificación	13
Objetivos	15
Objetivo General	15
Objetivos Específicos	15
Marco teórico	16
Método	58
Calcular la demanda	58
Dimensionamiento del sistema.....	61
Desalación	61
Condensación	64
Estudio de caso	65
Descripción geográfica Manaure.....	66
Características climáticas de Manaure	67
Características socio económicas	68
Cobertura de agua potable	69
Cobertura de agua potable en el municipio de Manaure	70
Resultados y discusión	72

Resultados	81
Conclusiones	84
Referencias.....	87
Anexos	100

Lista de tablas y figuras**Tablas**

Tabla 1 Tecnologías y usos.....	22
Tabla 2 - Participación por tecnología en la Matriz Electrica de Colombia.....	24
Tabla 3 Características químicas del agua en la calidad de agua para consumo humano.	35
Tabla 4 Características Físicas del agua en la calidad del agua para consumo humano.	35
Tabla 5 Costos de desalación.....	38
Tabla 6 Cuadro promedio de costo.	39
Tabla 7 Tasa de crecimiento	59
Tabla 8. Nivel de Complejidad	73
Tabla 9 Cálculo del caudal.....	74
Tabla 10 Consumo específico de la desaladora	74
Tabla 11. Resultados simulación.	82

Figura

Figura 2.1 Esquema simple sistema fotovoltaico	17
Figura 2.2 Posibles transformaciones de la biomasa.	18
Figura 2.3 Calentamiento global.....	27
Figura 2.4 Contaminación por metales pesados.	28
Figura 2.5 Contribución de los sistemas energéticos al agotamiento de los recursos energéticos.	28
Figura 2.6 Destilación MSF.....	30
Figura 2.7Destilación MED.....	30
Figura 2.8 Destilación MVC.....	31

Figura 2.9 Proceso de osmosis inversa.	32
Figura 2.10 Esquema básico de una planta de desalación mediante ósmosis inversa.	33
Figura 2.11 Descripción de la instalación de una planta de Desalinizadora.	34
Figura 2.12 Diagrama psicométrico.	41
Figura 2.13 Líneas características en el diagrama psicométrico.	42
Figura 2.14 Humidificación adiabática por aporte de agua líquida.	42
Figura 2.15 Mezclas de dos caudales de aire húmedo.	43
Figura 2.16 Esquema del ciclo de compresión mecánica simple.	45
Figura 2.17 Diagrama del ciclo real.	46
Figura 2.18 Ciclo de obtención de agua.	47
Figura 3.1 Método.	58
Figura 3.2 Sistema de desalación (osmosis inversa).	61
Figura 4.1 Ubicación del municipio de Manaure La Guajira.	66
Figura 5.1 Condensador Aquir 5000U.	75
Figura 5.2 Condensador WaterMicrom.	76
Figura 5.3 Recurso Eólico.	79
Figura 5.4 Recurso Solar.	80
Figura 5.5 Resultados Sistema de Desalación.	81
Figura 5.6 Resultados Sistema de Condensación.	82
Figura 8.1 Demanda de la población.	100
Figura 8.2 Especificaciones del panel solar.	101
Figura 8.3 Especificaciones del Aerogenerador.	102
Figura 8.4 Especificaciones del generador Diesel.	103

Figura 8.5 Recurso solar	104
Figura 8.6 Recurso Eólico.....	105
Figura 8.7 Diesel.....	106
Figura 8.8 Optimización de los resultados.....	106

Introducción

La propuesta de un Estudio técnico y económico de dos tecnologías de potabilización del agua impulsada por energías renovables en el municipio de Manaure-Guajira, se convierte en una alternativa de solución a una de las problemáticas sociales relacionadas con la prestación de servicios públicos que aquejan el municipio. Se pretende realizar el estudio de dos tecnologías de tratamiento: 1) desalación utilizando procesos de osmosis inversa; 2) procesos de condensación de agua potable a partir de la humedad a fin de lograr la potabilización de esta. Para el desarrollo de la propuesta se han establecido varios objetivos con el fin de la consecución de nuestros propósitos los cuales nos permiten el desarrollo de acciones entre otras, analizar y comparar la calidad del agua producto con la normatividad colombiana, la cuantificación de las fuentes de energía renovables en el municipio, análisis de los aspectos técnicos y económicos los cuales la tecnología más adecuada que pueda proveer a la población estudiada del vital líquido.

Justificación

El agua es un factor esencial para la vida y para las actividades económicas de las sociedades humanas, por lo que su disponibilidad es importante para el desarrollo de los pueblos, debido a la dependencia que respecto a la misma tienen tanto la agricultura, como la industria o población.

El Planeta se encuentra en su mayor parte ocupado por mares y océanos, donde se encuentra el 97,5 % la cual no es apta para consumo humano del agua disponible, por lo que se dispone sólo de 2,5% de agua dulce, casi toda ella congelada en las profundidades de la Antártida y Groenlandia teniendo en cuenta que sólo se pueden explotar fácilmente las cantidades pequeñas de agua dulce de los ríos y lagos, del suelo y de los acuíferos poco profundos siendo son los principales componentes de los recursos hídricos de la Tierra,

alimentados por la precipitación y por el agua de deshielo de los glaciares en algunas zonas, y completados por el rocío y el goteo de niebla en ciertos lugares(UNESSCO & OMM, 1997).

La distribución de esta masa de agua dulce en la Tierra es muy heterogénea, existiendo regiones del mundo que están ampliamente dotadas, mientras otras zonas están sometidas a sequía (López, 2016). En el municipio de Manaure ubicado en el departamento de La Guajira, existe una seria problemática por la escasez de agua, esta situación se presenta debido a diferentes factores entre ellos: ausencia de fuentes superficiales y subterráneas de agua potable y la falta de la infraestructura requerida para atender la demanda de la comunidad. Lo anterior es confirmado por varios medios de comunicación, tales como NOTICIASRCN (2014) que publicó un reportaje sobre estudios realizados por la defensoría del pueblo quienes informan que la crisis de agua que afronta el país, particularmente la Costa Caribe, es especialmente difícil en comunidades indígenas de la media y alta Guajira, la situación se agrava porque los recursos hídricos se están acabando ante los intensos veranos. De hecho, hay sectores en los que la supervivencia de la comunidad está en manos de los niños y niñas, como sucede en diferentes rancherías del corregimiento de Musichi, en jurisdicción de Manaure, donde los pequeños wayuu deben conseguirle agua a su familia (Noticias RCN, 2014) La problemática principal es el bajo índice en el suministro de agua potable para el uso diario que afecta al Manaureño, esto se ve influenciado en su mayor parte por la falta de acuíferos viables para su potabilización.

El Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales(IDEAM) afirma en informes realizados que la Guajira se ha caracterizado por presentar uno de los regímenes de lluvias más bajos del Caribe colombiano (599 mm/año) ubicándose alrededor de 500 mm por debajo del promedio de la región, y por tener una de las temperaturas más altas del Caribe Colombiano con un promedio anual de 28,5 °C (IDEAM, 2007). El comportamiento histórico de

los niveles de precipitaciones realmente bajo en esta región del Caribe, las lluvias son escasas en territorios que limitan con la Alta Guajira y otros municipios del Departamento. En los meses secos caen aguaceros torrenciales de corta duración, que no son suficientes para sostener estos lugares (IDEAM, 2007). En aras de contribuir al desarrollo de la población Manaurena, mejorar su calidad de vida y garantizar el acceso a un recurso apto para el consumo humano como es el agua potable; se plantea la comparación de dos métodos de obtención del agua potable a través de procesos físicos-químicos para la obtención de agua apta para el consumo humano.

Aprovechando para ello la ubicación geográfica del municipio de Manaure frente del mar Caribe donde convergen fuertes vientos y brisas marinas, llamados por los nativos de la región como brisas del nordeste lo que favorece la realización del estudio.

Objetivos

Objetivo General

Comparar la factibilidad técnica y económica de dos tecnologías de potabilización del agua impulsadas por energías renovables en el municipio de Manaure-Guajira.

Objetivos Específicos

- Identificar y cuantificar el potencial de las fuentes de energías renovables de Manaure, con base en las necesidades de energía de las tecnologías de potabilización evaluadas.
- Evaluar la factibilidad técnica y económica para la implementación de una planta desaladora en el municipio de Manaure –La Guajira.
- Evaluar la factibilidad técnica y económica para la implementación de unidades de condensación de agua potable a partir de la humedad del aire en el municipio de Manaure –La Guajira.

Marco teórico

Energía

La energía es la capacidad que tienen los cuerpos para producir trabajo: trabajo mecánico, emisión de luz, generación de calor, etc. La energía puede manifestarse de distintas formas: gravitatoria, cinética, química, eléctrica, magnética, nuclear, radiante, etc., existiendo la posibilidad de que se transformen entre sí, pero respetando siempre el principio de conservación de la energía (Schallenberg et al., 2008). Estas pueden clasificarse dependiendo su disponibilidad en renovable y no renovables. Las energías no renovables son aquellas que existen en la naturaleza en una cantidad limitada, no se renuevan a corto plazo y por eso se agotan cuando se utilizan. En la actualidad la demanda energética se satisface fundamentalmente con este tipo de fuentes energéticas: el carbón, el petróleo, el gas natural y el uranio (Schallenberg et al., 2008). Por otra parte, las energías renovables son aquellas cuyo potencial es prácticamente inagotable, ya que provienen de la energía que llega a nuestro planeta de forma continua, como consecuencia de la radiación solar o de la atracción gravitatoria de la Luna. (Schallenberg et al., 2008) Estas se producen de forma continua y son inagotables a escala humana; se renuevan continuamente, a diferencia de los combustibles fósiles, de los que existen unas determinadas cantidades o reservas, agotables en un plazo más o menos determinado. Las principales formas de energías renovables que existen son: la biomasa, hidráulica, eólica, solar, geotérmica y las energías marinas. Las energías renovables provienen, de forma directa o indirecta, de la energía del Sol; constituyen una excepción la energía geotérmica y la de las mareas (Schallenberg et al., 2008).

La energía solar es aquella que se obtiene de la radiación que emiten los rayos solares que se aprovecha a través de herramientas ópticas o de otro tipo. Dentro de la energía solar hay

diversas clases como lo son la energía solar térmica que recoge la radiación mediante unos colectores térmicos que convierten la radiación en calor (Perdomo, 2012).

Por su parte la energía solar fotovoltaica resulta de la transformación directa de la energía del sol en energía eléctrica, utilizando una parte del espectro electromagnético de la energía del sol para producir electricidad mediante la utilización de paneles solares. Dichas instalaciones requieren un sistema fotovoltaico que está compuesto por elementos como el panel solar, un regulador, batería, inversor y cargas de aplicación, de esta manera se logra la transformación directa de la energía solar en eléctrica y su posterior almacenamiento (BUN-CA, 2002) . En la se evidencia un esquema simple de un sistema fotovoltaico.

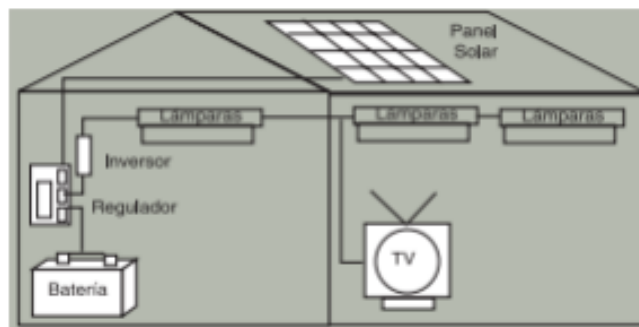


Figura 0.1 Esquema simple sistema fotovoltaico **Fuente:** Tomado de (BUN-CA, 2002)

La energía eólica es aquella que contiene el viento en forma de energía cinética; esta se obtiene de la fuerza del viento y, así, se logra generar electricidad producida por efecto de las corrientes de aire mediante el empleo de aerogeneradores. Este tipo de fuente no convencional se utiliza desde la antigüedad cuando se utilizaban molinos de viento (Perdomo, 2012).

Un aerogenerador es el sistema de aprovechamiento eólico más utilizado hoy en día, en donde su funcionamiento se basa en que al incidir a través de las hélices de este dispositivo una

corriente de aire, se activa un sistema mecánico que hace girar el rotor de un generador que produce energía eléctrica (Schallenberg et al., 2008).

La biomasa es materia viva orgánica que puede ser de origen vegetal o animal y la misma puede ser utilizada con fines energéticos, la energía producida de la biomasa se da por un proceso de fotosíntesis, que permite que se formen carbohidratos de los que se puede extraer energía, para convertirla en biogás o biocombustibles líquidos como se puede ver en la Figura 0.2 (Perdomo, 2012)

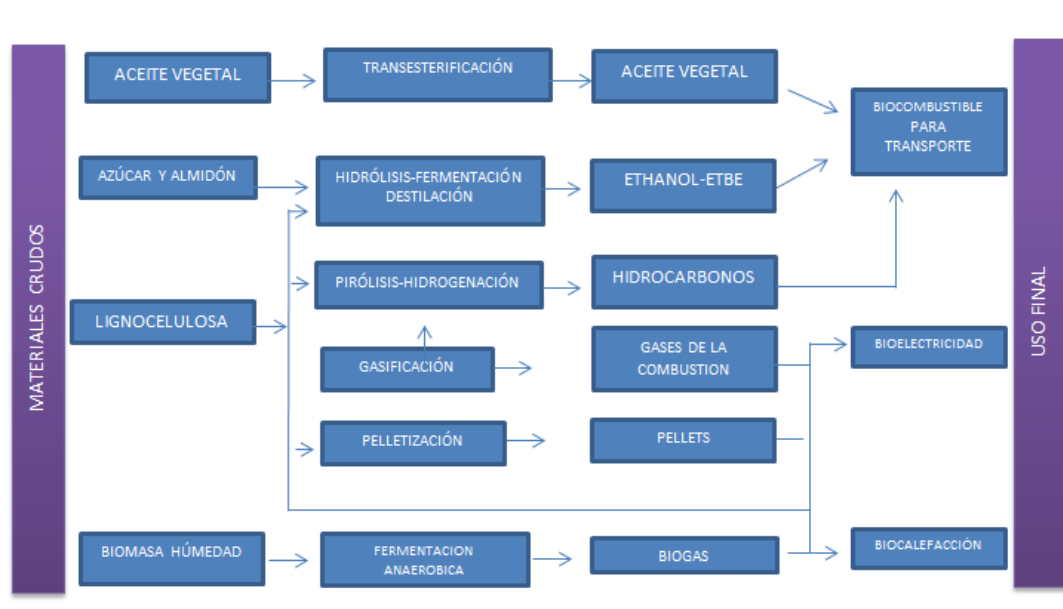


Figura 0.2 Posibles transformaciones de la biomasa.
Fuente: Tomado de (EPEC, 2012).

La energía oceánica utiliza al mar como recurso natural para generar electricidad, obtenida a partir de varios fenómenos que se dan en los océanos. En el caso de la energía mareomotriz esta utiliza las oscilaciones que se presentan en el mar. Hay ciertos procesos que se producen en los océanos que pueden ser aprovechados para la generación de energía eléctrica (Perdomo, 2017).

Los mares y océanos tienen gran potencial energético, con posibilidades de ser convertido en electricidad. Quintero & Quintero, (2015) afirman que existen varias alternativas tecnológicas según el tipo de aprovechamiento de dicho potencial energético, entre las que se encuentran:

- la energía de las corrientes, en la que se hace uso de la energía cinética que poseen las corrientes marinas mediante la instalación submarina de estructuras similares a un aerogenerador.
- la energía maremotérmica, que emplea la variación entre la temperatura de la superficie y la temperatura de aguas profundas, requiriéndose un gradiente térmico de al menos 20 °C.
- la energía undimotriz o energía a partir del movimiento de las olas, que utiliza la fuerza con la que se desplaza determinada masa de agua a causa del rozamiento con las corrientes de aire (oleaje).
- la potencia osmótica también llamada energía azul, obtenida mediante ósmosis por la diferencia de concentraciones de sal entre el agua de mar y agua de ríos.
- La energía mareomotriz, que aprovecha el ascenso y descenso del agua del mar producido por las fuerzas gravitatorias del sol y la luna.

La utilización de las energías renovables.

En este capítulo se presenta un resumen cronológico de la historia de la energía más conocida como la electricidad. El inicio se remota hacia los primeros observadores de este fenómeno los griegos de donde se destaca al filósofo Tales de Mileto (600 años a.c) descubrió que al jugar con la resina del árbol conocida como ámbar, al frotarla con un paño de lana esta atraía partículas. Luego de muchos años el inglés William Gilbert descubrió el que otras sustancias como el vidrio y el azufre se comportaban como el ámbar mientras que otras sustancias como la plata y el cobre no ejercían ninguna reacción. A dicha reacción la llamo

electricidad, a las sustancias que le permitían dicha atracción los llamo eléctricas, y a los que no los llamo aneléctrico. 87 años después el científico Benjamín Franklin propuso, frente a lo que habían mantenido sus colegas, que no existían tipos de fluidos si no que la electricidad se mantenía en las cosas y esta podía estar en exceso o en defecto por lo cual las llamo electricidad positiva o negativa. Él se dedicó a estudiar este fenómeno hasta realizar su célebre experimento en 1752, donde hizo volar una cometa en medio de una tormenta para demostrar que el rayo era electricidad y lo probó al pasar este a través de una cuerda húmeda a lo cual estaba una llave y, al tocarla, salieron chispas; tras realizar este experimento el científico invento el pararrayo (Roy, 2004).

Después de muchas décadas, el conde Alexander Volta invento las “pilas” las cuales producían cargas eléctricas por medio de una reacción química originadas por placas de zinc y cobre sumergidas en ácido sulfúrico y a esto lo bautizo como corriente. Al pasar el tiempo, otros investigadores hicieron grandes aportes como lo fueron Georg Simón Ohm, el cual sentó base sobre las cargas eléctricas; Hans Orested descubrió el magnetismo a través de una aguja; y Michael Faraday creando el primer transformador y dejando una terminología que todavía se emplea hoy: electrolito, electrolisis, ánodo y cátodo (Roy, 2004)

El croata –americano Nicolás Tesla invento el carrete de Tesla, un tipo de transformador que permite producir las señales de alta frecuencia empleadas por la radio y televisión, demostrar que las maquinas funcionaban mejor con corriente alterna que con continua y luego invento el motor de inducción. Con el tiempo la empresa Westinghouse, aprovechando todas las investigaciones y grandes avances de la época puso en servicio la primera planta de generación eléctrica comercial. Gracias a Maxwell los inventos de Faraday se convirtieron en matemática presentando ecuaciones unificadas sobre el comportamiento del campo eléctrico y el

magnetismo. Se hizo necesario realizar investigaciones acerca de la intensidad eléctrica por el auge imparable del desarrollo de inventos eléctricos, con la electricidad domesticada el mundo se llenó de cables y la electricidad se volvió dependiente del petróleo (Roy, 2004)

La dependencia del petróleo, el carbón y el gas ha generado conflictos de orden político (guerras entre naciones) y ambiental (emisiones de dióxido de carbono, azufre, etc.); por esta razón, en los últimos años se ha hecho necesario invertir en el desarrollo y aplicación de tecnologías alternativas de producción de energía que funcionen con recursos renovables. Para el ser humano es claro que estas fuentes de energía están disponibles en su entorno, entonces su interés por explotarlas también radica en una mejor administración de los recursos locales. Además, en el mundo entero el término renovable se asocia con la disminución de emisiones contaminantes y con la "no-producción" de desechos, lo cual garantiza un medio ambiente más limpio y apropiado para nosotros y para las futuras generaciones (UPME, 2005,p.7)

Aunque la contribución de las energías renovables (con respecto al consumo total de energía primaria) a nivel mundial ronda el 8%, existe un crecimiento en la conciencia a nivel mundial en lo que se refiere a la problemática energética, debido fundamentalmente a:

1. La gran dependencia energética del exterior de los países industrializados
2. El agotamiento y encarecimiento de los recursos energéticos fósiles
3. Los recientes descubrimientos sobre el origen antropogénico del cambio climático.

Teniendo en cuenta lo anterior es necesario destacar la importancia de la integración de fuentes de energía no convencional en los sistemas eléctricos ya que permiten contar con un parque generador robusto que pueda afrontar condiciones adversas como fenómenos climatológicos o fallas técnicas, además existe una diversidad amplia en cuanto a las tecnologías de energías renovables como se observa en la Tabla 1.

Tabla 1
Tecnologías y usos

Recursos	Tecnología	Elemento	Aplicación
Solar	Fotovoltaica	Celdas solares	Electricidad
	Térmica	Colectores	Calor,
	Pasiva	Muros y ventanas,	electricidad
		etc.	Calor,
			iluminación
Eólica	Generación eléctrica	Aerogeneradores	Electricidad
	Fuerza motriz	Aerobombes	Fuerza motriz
Biomasa	Gasificación	Biodigestor	Biogás
	Pirólisis	Gasificador	Gases
	Fermentación	Pirólisis	combustibles
	Alcohólica	Destilería	Combustible
	Esterificación	Unidad de	Bioetanol
	Combustión	esterificación	Biodiesel
		Hornos, calderas	
Hidráulica	Centrales	Pequeñas centrales	Electricidad
	Hidroeléctricas	Hidráulicas	Fuerza motriz
	Pequeños	Ruedas	
	Aprovechamiento		
Océanos	Mareas	Barreras, turbinas	Electricidad
	Olas	Flotadores,	
	Diferencia de	columnas,	
	temperatura	Aparatos	
	Corrientes marinas	focalizantes	
		Turbinas,	
		condensadores	
Geotermia	Generación eléctrica	Plantas de energía	Electricidad
	Usos directos	Aguas termales	Calor,
			recreación.

Fuente: (UPME, 2005)

Como se ha presentado anteriormente, existe una diversidad amplia en cuanto a las tecnologías de energías renovables, sin embargo, para el desarrollo de esta tesis se tendrán en

cuenta las energías renovables de tipo solar y de tipo eólico, utilizando para la evaluación de su prefactibilidad el modelo HOMER en su versión Legacy 2.68 <<https://www.homerenergy.com/>>, utilizado para el predimensionamiento óptimo de pequeños sistemas de energía.

HOMER

HOMER Energy es un modelo de optimización de energía, el cual realiza cálculos de balance de energía para cada una de las configuraciones del sistema que deseamos considerar, para luego determinar si las configuraciones dadas son factibles para dicho sistema. Para así darse cuenta si satisfacemos la demanda eléctrica necesaria de nuestro proyecto dentro de los cuales calculamos costos de instalación y la operación del sistema durante la vida útil del proyecto. Podemos obtener como resultados: costos de reemplazo, operación, capital, operación y mantenimiento, combustible y estimativas financieras del costo presente del proyecto. HOMER permite optimizar el sistema teniendo en cuenta diferentes variables de sensibilidad como entradas, lo que hace es repetir el proceso de optimización para los valores de cada una de las variables que nosotros hemos especificado dentro de nuestro proyecto. Buscando la mejor solución o la que más se adapte a nuestras condiciones o especificaciones del sistema por ejemplo si definimos la velocidad como una de nuestras variables de sensibilidad el programa buscara simular las configuraciones del sistema para el rango de velocidades que nosotros especificamos (Givler & Lilienthal, 2005).

Normativa

La Unidad de Planeación Minero-Energética (UPME) es la unidad administrativa especial de orden nacional adscrita al Ministerio de Minas y Energías, la cual tiene como misión apoyar la formulación y la implementación de las políticas públicas para el desarrollo minero-energético. En su Plan Energético Nacional Ideario Energético 2050 establece una política

energética de largo plazo que tiene en cuenta, como elementos esenciales, la situación del sector eléctrico en Colombia.

Perdomo (según UPME, 2015, p.81) piensa que el objetivo general de la política energética es lograr el abastecimiento interno y externo de energía de manera eficiente, con el mínimo impacto ambiental y generando valor para las regiones y poblaciones. Se busca entonces, mejorar tanto la seguridad como la equidad energética, incorporando criterios de sostenibilidad ambiental, lo cual coincide con las dimensiones propuestas por el *World Energy Council* (WEC) en su índice de sostenibilidad energética.

Conforme a la política mencionada anteriormente, se distinguen varios aspectos principales sobre la prestación del servicio de energía eléctrica como lo son la garantía en el abastecimiento, igualmente se pretende mitigar los impactos ambientales que se derivan de la construcción de hidroeléctricas como también la contaminación derivada de la energía producida a través de combustibles fósiles en las termoeléctricas (Perdomo, 2012). En vista del anterior, se ha identificado diversas debilidades del sector eléctrico en Colombia para las cuales se han proyectado diversos escenarios, en los que se incluyen fuentes no convencionales de generación de energía eléctrica para la atención de la demanda, los cuales se evidencia en la Tabla 2

Tabla 2

Participación por tecnología en la Matriz Eléctrica de Colombia

Tecnología	Generación eléctrica (MW)	Potencial de generación (MW)
Hidráulica	11.501	58.000
Térmica Gas	1.620	

Térmica Carbón	1.348	
Líquidos	1.592	
Eólica	18	29.500
Biomasa	93	
Total	16.436	87.500

Fuente (Perdomo, 2012).

Ley 1715 de 2014 sobre energía renovable en Colombia

La instalación de capacidad hidroeléctrica obedece a la alta disponibilidad de recursos hídricos fruto de la geografía colombiana, lo cual ha causado efectos ambientales adversos, tales como “la disminución de caudales de agua, afectación en la calidad de agua por incremento de sedimentos, alteración de la calidad del aire, proceso de erosión en la etapa de construcción, afectación en la calidad del paisaje, muerte y desplazamiento de fauna terrestre, pérdida de cobertura vegetal debido al llenado de los embalses y ha atrasado el abastecimiento eficiente, renovable y autónomo del recurso energético(Perdomo, 2012).

En la planeación de la expansión de la generación y de la transmisión se han priorizado las matrices energéticas tradicionales, es decir, la hidroeléctrica o térmica, por lo cual debe fomentarse una nueva política en relación con la forma como se genera, transporta, distribuye y comercializa la energía.

Con la ley se dio el primer paso para incentivar el uso de fuentes no convencionales para la generación de energía eléctrica en Colombia. Sin embargo, la aplicación de esta ley se encuentra supeditada a la reglamentación de varios temas que corresponde realizar a entidades

como lo son el Ministerio de Minas y Energía y la Comisión de Regulación de Energía y Gas. Esta ley fue sancionada por el presidente de la República en el día 13 de mayo del año 2014, sin embargo, la reglamentación ha surtido un proceso lento que ha resultado en graves afectaciones para el sistema eléctrico, como la condición climática adversa que afronta el país y el mundo desde el año 2015 según científicos de los Centros Nacionales de Información Ambiental (NCEI) de NOAA y confirmado por la Nasa dando a conocer como la década más calurosa jamás registrada del 2010 al 2019(NOAA, 2020). Lo anterior es confirmado por varias entidades, tales como NOAA(2020) los cuales se pudieran mitigar en gran medida por uso de tecnologías de energía renovable aunque la Ley 1715 de 2014 estableció un marco legal general para la promoción, desarrollo y utilización de fuentes no convencionales para la generación de Energía, requiere para su implementación las reglas de mercado bajo las cuales va a operar (Perdomo, 2012).

Aspectos ambientales

Las energías renovables son una fuente de electricidad “limpia”, inagotable y autóctona, lo cual representa importantes ventajas ambientales, el balance de esta tecnología en comparación con energías tradicionales resulta mucho más positivo (López, 2016).

A diferencia de los sistemas de generación de energía tradicionales, durante la generación, la energía renovable no genera residuos peligrosos radiactivos ni vierte a la atmósfera dióxido de carbono, dióxido de azufre, óxidos de nitrógeno o partículas sólidas. El dióxido de azufre, los óxidos de nitrógeno y los metales pesados son contaminantes con una importante incidencia en la salud de los ciudadanos y el medio ambiente, mientras que el dióxido de carbono es uno de los principales gases de efecto invernadero causantes del calentamiento de

la Tierra, cuya reducción y control es uno de los mayores desafíos actuales de la Humanidad (López, 2016).

Calentamiento global

Los sistemas térmicos clásicos basados en los combustibles fósiles, como son el lignito, carbón, petróleo y gas natural, contribuyen al 99% del calentamiento global provocado por las tecnologías de generación de electricidad como se muestra en Figura 0.3 (López, 2016).



Figura 0.3 Calentamiento global.

Fuente: (López, 2016)

Contaminación por metales pesados

Se evidencia que los sistemas térmicos del carbón y, en menor medida del petróleo son los principales responsables de la contaminación por metales pesados procedente de tecnologías de generación de electricidad. Ello es debido a sus emisiones a la atmósfera de cadmio y plomo, y de bario y plomo al agua, procedentes de los procesos de combustión (López Juvinao, 2016).

Contaminación por metales pesados

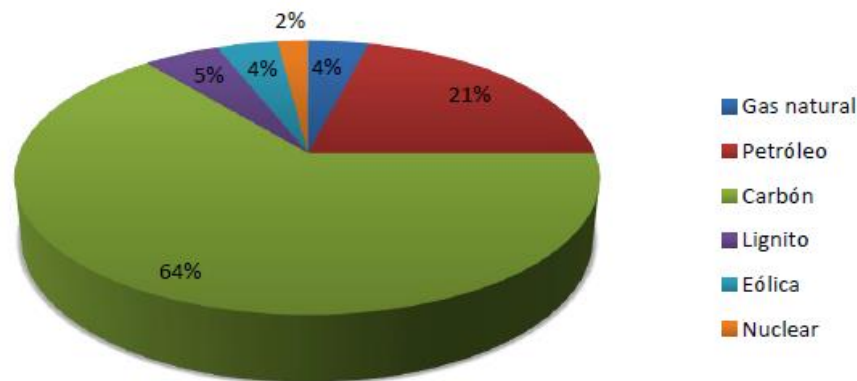


Figura 0.4 Contaminación por metales pesados.
Fuente: (López, 2016)

Agotamiento de recursos energéticos

Agotamiento de recursos energéticos

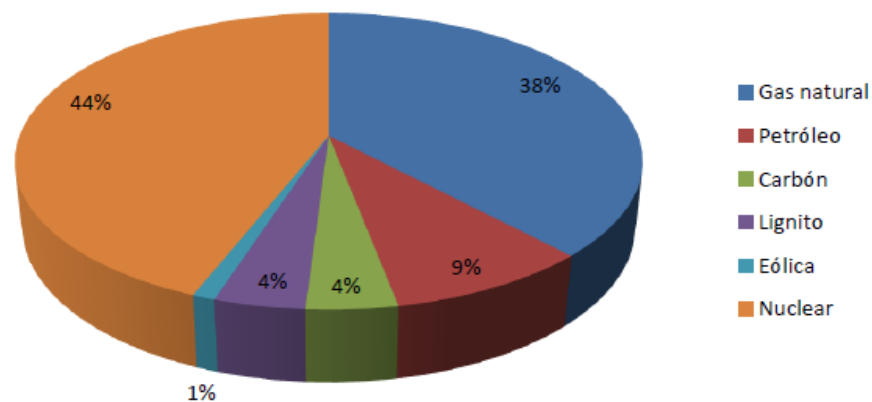


Figura 0.5 Contribución de los sistemas energéticos al agotamiento de los recursos energéticos.
Fuente:(López, 2016).

En la Figura 0.5 se presenta conjunto de recursos no renovables, son las reservas de uranio, gas natural y petróleo las que presentan un menor nivel de recursos por lo que, ante su previsible escasez o agotamiento tiene una mayor sanción.

Desalación

La desalación consiste en un proceso de separación de sales disueltas de aguas salobres o de mar para convertirlas en aguas adecuadas para consumo humano, industrial o de riego, según el fin con el que se quiera realizar el proceso (Medina & Antonio, 2000). Mientras que Torres (2004) afirma que la desalación es un proceso por el cual el agua de mar o salobre puede convertirse en un recurso hídrico perfectamente aprovechable, tanto para el abastecimiento humano, como para el riego en la agricultura y en usos industriales (Torres, 2004).

En el proceso de desalación existen diversos sistemas los cuales están basados en el mismo principio físico de separación del agua y las sales disueltas en este, mediante la evaporación y la posterior condensación del vapor (Torres, 2009). Los principales métodos son:

Destilación flash multietapa – MSF

En este proceso el agua de alimentación en un tanque es calentada, por medio de tubos ubicados en paralelo con un líquido caliente en su interior, posteriormente se pasa a otro tanque, el cual recibe como nombre etapa, donde se reduce la presión para que el agua hierva a una mayor velocidad, seguido a esto el agua vaporizada es enfriada y condensada para la obtención del agua producto (Cortes & Lesmes, 2014). En la Figura 0.6 se presenta un diagrama del proceso de evaporación instantánea multietapa.

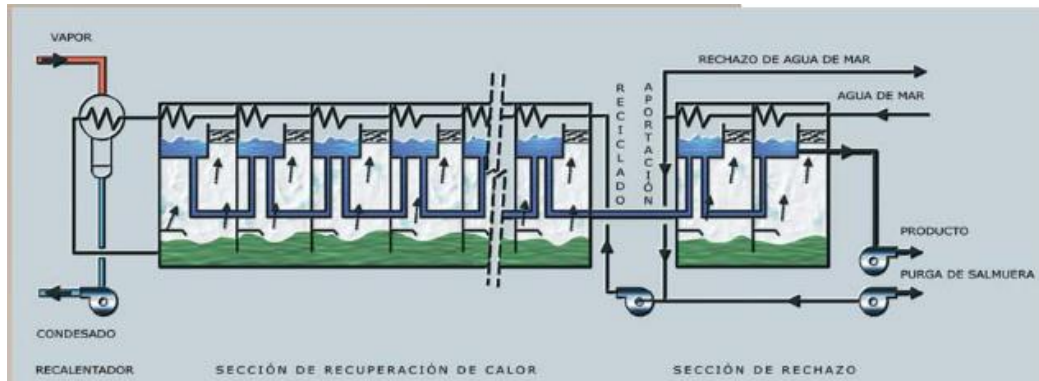


Figura 0.6 Destilación MSF

Fuente: (Sánchez, 2008)

Destilación multiefecto – MED

Este proceso de destilación se configura por medio de tubos verticales u horizontales, en donde el vapor se condensa en un lado del tubo lo que ocasiona la evaporación del agua de alimentación en el otro lado del tubo, por lo que la evaporación del agua se distribuye sobre la superficie exterior de los tubos calentados (Cortes & Lesmes, 2014). En la Figura 0.7 se muestra el ciclo del proceso de multiefecto.

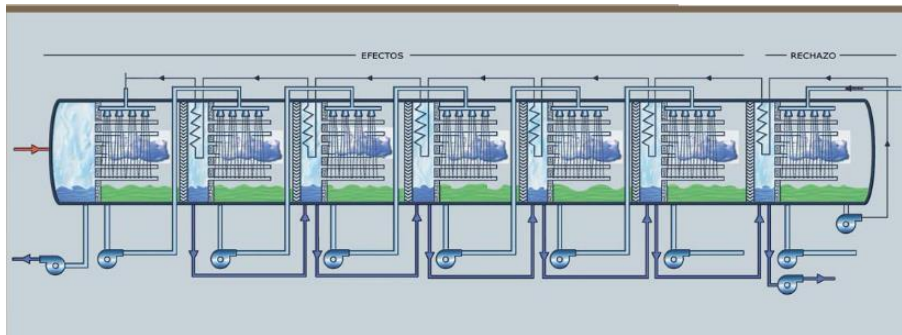


Figura 0.7 Destilación MED.

Fuente: (Sánchez, 2008)

Destilación por compresión mecánica de vapor – (MVC)

El funcionamiento de estos procesos se da por una compresión de vapor de agua, lo que ocasiona una condensación sobre la superficie de un tubo, lo que permite al calor ser transferido

a la salmuera del otro lado de la superficie, resultando en la vaporización de esta.(Cortes & Lesmes, 2014).En la Figura 0.8 se presenta el ciclo del proceso de compresión de vapor.

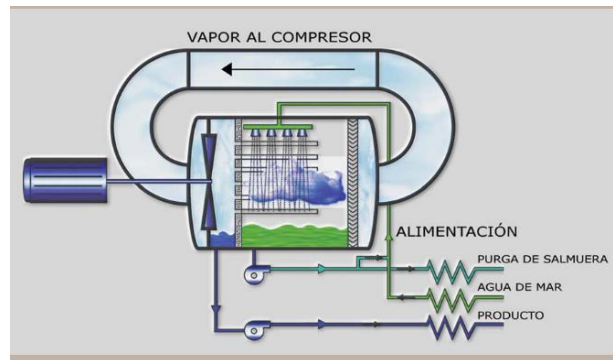


Figura 0.8 Destilación MVC.
Fuente: (Sánchez, 2008)

Osmosis inversa

La tecnología de la ósmosis inversa se basa en el proceso de ósmosis, que es el fenómeno natural que se produce en las células de los seres vivos, por el cual dos soluciones de distinta concentración salina puestas en contacto a través de una membrana semipermeable tienden a igualar sus concentraciones (López, 2016). Cortés y Lesmes (2014) afirma que en la ósmosis inversa se aplica presión externa al agua de alto soluto (agua concentrada) para causar que el solvente (agua) pase a través de la membrana, dejando al soluto (sales y otros no permeados) en una salmuera más concentrada.

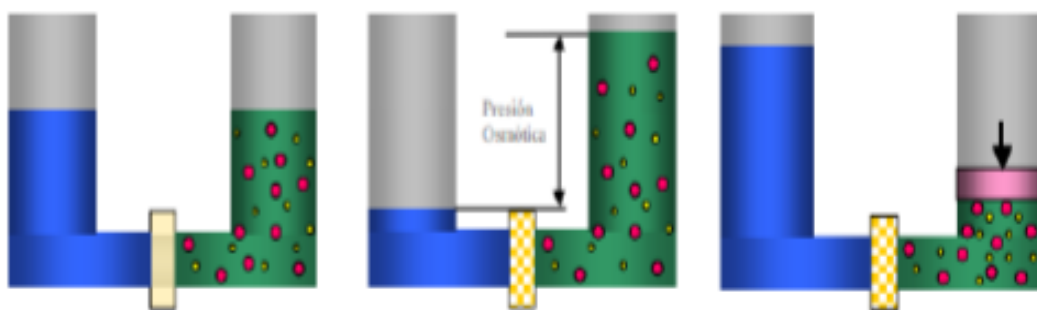


Figura 0.9 Proceso de ósmosis inversa.
Fuente: (Cortes & Lesmes, 2014)

El proceso de ósmosis inversa se muestra en 3 pasos como se evidencia en la Figura 0.9. En el primer paso, los dos vasos se encuentran separados por una membrana semipermeable que sólo permite el paso del agua; si en el vaso de la derecha se introduce agua pura y en el de la izquierda agua con sales disueltas, aparece una presión sobre la membrana desde el lado del agua pura hacia la disolución salina a efecto de igualar el potencial químico en ambas soluciones, el valor de esta presión es la presión osmótica de esa solución. Las moléculas de agua de la disolución salina también pasan hacia el agua pura, pero el balance del número de moléculas de agua atravesando la membrana es favorable en la dirección desde el agua pura a la solución salina. (Cortes & Lesmes, 2014,p.42)

Es así como se da el segundo paso que es cuando disminuye la cantidad de agua pura y se incrementa la cantidad de agua salina, hasta que la columna diferencial de agua entre ambos recipientes es tal, que la presión del líquido del lado de la solución salina iguala la presión osmótica.(Cortes & Lesmes, 2014,p.42)

En un tercer paso si a este mismo proceso de ósmosis, se le sitúa un émbolo sobre la superficie de la solución salina y se ejerce presión mecánica sobre ella, cuando se iguala la presión osmótica, el proceso se equilibra y las moléculas atraviesan de un lado a otro de la

misma forma. Se continúa aumentando la presión sobre la solución salina el equilibrio se invierte, pasando más moléculas de agua de la solución salina hacia el lado de agua pura que en el sentido contrario como se muestra en el tercer paso, obteniendo agua pura mediante ósmosis inversa (Cortes & Lesmes, 2014).

Planta desaladora

Este sistema de desalinización consiste en alimentar agua salobre o marina a una planta desaladora, la cual tiene como función acondicionar y eliminar sales del agua, para obtener agua producto (permeado) y un rechazo en la forma de salmuera o concentrado (Cifuentes et al., 2005). En la Figura 0.10 e Figura 0.11 Se presenta un esquema básico de una planta de desalación mediante ósmosis inversas y el proceso de instalación de esta.

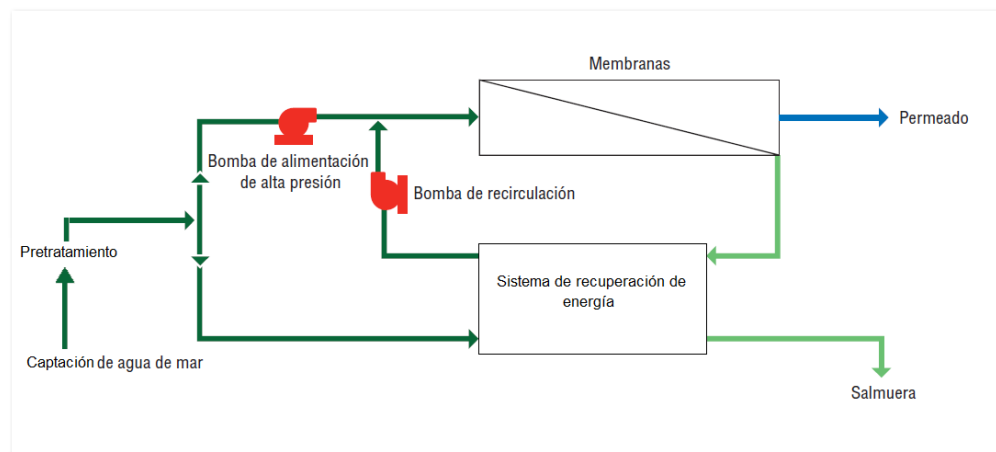


Figura 0.10 Esquema básico de una planta de desalación mediante ósmosis inversa.
Fuente: (Cortes & Lesmes, 2014).

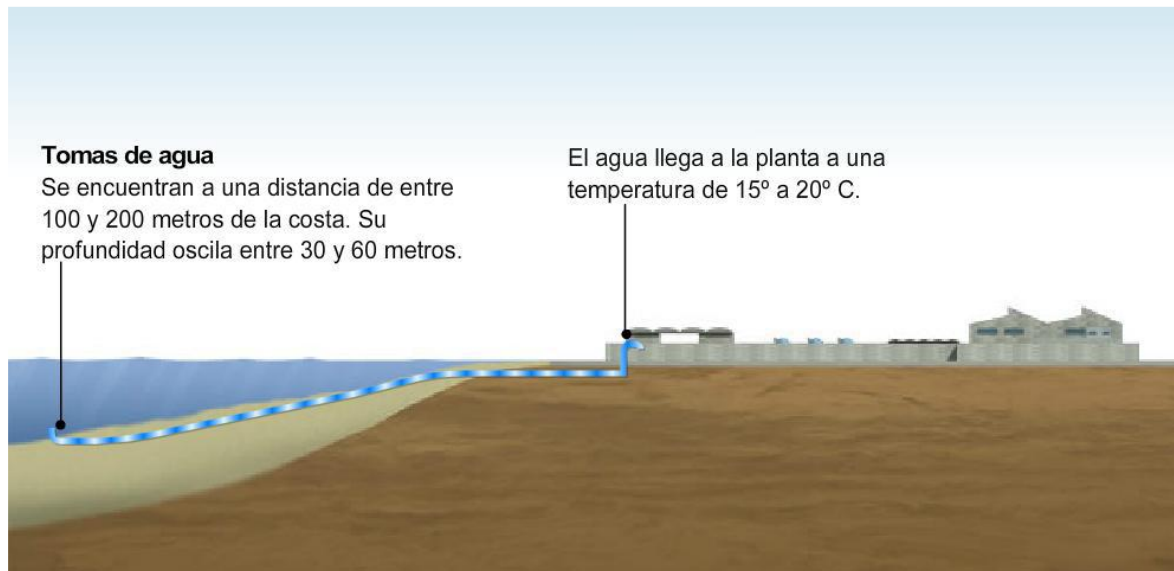


Figura 0.11 Descripción de la instalación de una planta de Desalinizadora.
Fuente: (Cortes & Lesmes, 2014)

Normativa colombiana sobre la calidad de agua.

En la Resolución 2115 DE 2007 se establecen las características necesarias en la calidad del agua para el consumo humano, indicando los valores máximos aceptables de las características físicas. En cuanto al agua producto y su contenido de cloro residual la resolución establece un valor aceptable de este en cualquier punto de la red de distribución del agua para consumo humano, comprendido entre 0,3 y 2,0 mg/L. La dosis de cloro por aplicar para la desinfección del agua y asegurar el residual libre debe resultar de pruebas frecuentes de demanda de cloro (Cortes & Lesmes, 2014).

A continuación, en la Tabla 3 y Tabla 4 se encuentran las características físicas y químicas que deben cumplir la calidad del agua para el consumo humano.

Tabla 3

Características químicas del agua en la calidad de agua para consumo humano.

PARÁMETROS	UNIDADES	VALOR MAXIMO ACEPTABLE
Color aparente	De platino cobalto (UPC)	15
Olor y sabor	Aceptable o no aceptable	Aceptable
Turbiedad	Nefelometricas de turbiedad (UNT)	2
Conductividad	Microsiemens/cm	1000
Potencial de Hidrogeno	(pH)	6,5 y 9,0

Fuente: (Cortes & Lesmes, 2014)

Tabla 4

Características Físicas del agua en la calidad del agua para consumo humano.

Compuesto Químico	Símbolo	Valor maximo aceptable(mg/L)	Compuesto Químico	Símbolo	Valor maximo aceptable(mg/L)
Antimonio	Sb	0.02	Nitritos	NO ₂	0.1
Arsénico	Aa	0.01	Nitratos	NO ₃	10.0
Bario	Ba	0.7	Fluoruros	F	1.0
Cadmio	Cd	0.003	Calcio	Ca	60.0
Cianuro libre y disociable	CN*	0.05	Alcalinidad Total	CaCO ₃	200.0
Cobre	Cu	1.0	Cloruros	Cr	250.0
Cromo total	Cr	0.05	Aluminio	Ar	0.2
Mercurio	Hg	0.001	Dureza Total	CaCO ₃	300.0
Níquel	Ni	0.02	Hierro Total	Fe	0.3
Plomo	Pb	0.01	Magnesio	Mg	36.0
Selenio	Se	0.01	Manganeso	Mn	0.1
Trihalometanos totales	THMs	0.2	Molibdeno	Mo	0.07
Hidrocarburos	HAP	0.01	Sulfatos	SO ₄	250.0
Acromaticos Policilicos (HAP)			Zinc	Zn	3.0
Carbono Orgánico Total	COT	5.0	Fosfatos	PO ₄	0.5

Fuente: (Cortes & Lesmes, 2014)

Efectos ambientales de la desalación.

Los efectos de mayor incidencia con respecto a la desalación en el medio ambiente son el efecto de la salmuera, el incremento de la salinidad de los suelos y la emisión del dióxido de carbono a la atmosfera dichos efectos se pueden reducir con tecnologías correctivas adecuadas.

Efectos de la salmuera

La salmuera es una solución concentrada de agua de mar, donde el factor concentración depende del rendimiento de la tecnología que se aplique, la salmuera también puede contener, en menor concentración, soluciones de lavado, productos para reducir la corrosión y compuestos químicos que se emplean para el acondicionamiento de agua de mar y el agua potable producida (De la Cruz, 2006).

La salmuera tiene un gran impacto sobre los organismos que no tienen capacidad de regular o tolerar los cambios en la concentración de sales del medio en que habitan. Estas especies acaban desapareciendo en medios hipersalinos debido a la deshidratación de los tejidos. Para reducir los efectos de la salmuera, las soluciones incluyen su dilución antes de su vertido, la mezcla con otras aguas procedentes de ríos, canalizaciones o a la salida de refrigeración de centrales. La salmuera también puede ser conducida a través de emisarios (tuberías) a zonas marinas areniscas sin vegetación, con hidrodinamismo medio o elevado que facilite su dilución.

Efecto del riego con agua desalada sobre el suelo

El agua producida por la desalación por medio de ósmosis inversa es muy corrosiva, por lo que esta requiere ser remineralizada con carbonato cálcico antes de su uso y controlar las posibles incrustaciones que pueda ocasionar en los goteros de riego.

El rendimiento en la eliminación de sales empleando ósmosis inversa está entre el 94% y 99%, excepto para el boro, que sólo es del 67%. El sodio, si no hay un tratamiento posterior a la salida del agua de las membranas, puede causar con el paso de los años algunos daños para los

suelos y cultivos, reduciendo la productividad de los mismos. Por ejemplo, la fresa, los cítricos, las hortalizas o la vid son poco tolerantes a la salinidad, mientras que la palmera o el trigo son bastante tolerantes. En el caso del boro también hay ciertos cultivos que son muy sensibles, como la vid, el manzano y el naranjo. Estos problemas son evitables regando por exceso, reduciendo la evapotranspiración del suelo con alguna cobertura o empleando, preferiblemente, el riego por goteo (De la Cruz, 2006).

Efecto de las emisiones de CO₂

Las emisiones de CO₂ que se generan por el proceso de desalación provienen de la producción de energía eléctrica que se utilizan para alimentar las plantas de ósmosis inversa, y como resultado de la producción de vapor para alimentar las plantas de destilación. El impacto dependerá de la fuente de energía primaria que se utilice para la producción de dicha energía, que pueden ser combustibles fósiles con unas elevadas emisiones o por el contrario energía hidráulica, renovable o nuclear sin emisiones de CO₂ (De la Cruz, 2006).

Costos de Desalación

Latorre(2004) afirma que la desalación es una tecnología utilizada para conseguir un producto final determinado, es decir podemos asimilarla a un proceso industrial, y como en todos los procesos industriales es necesario invertir un capital, consumir energía y hacer funcionar la maquinaria de la mejor forma posible, por tanto, estos son los elementos que deben considerarse cuando se habla de costes de la desalación.

Al construirse cada vez plantas desaladoras más grandes y de mayor volumen se hace necesaria conocer estos para garantizar la rentabilidad de esta. Los costos totales de desalación

han ido disminuyendo al pasar de los años esto se debe al decrecimiento del consumo energético y los costos de inversión. Entre los factores más relevantes al momento de elegir el mejor proceso o el más adecuado de desalación se encuentra la capacidad de la planta la limpieza del agua y los costos de captación, la salinidad del agua, costos de vertidos de la salmuera, cualificación de los recursos humanos y los plazos previstos para la ejecución de dicho proyecto (De la Cruz, 2006).

La publicación de datos sobre los costes de desalación no tiene una base de cálculo unificada y hay importantes diferencias de criterio entre las diversas fuentes, que estriban en la capacidad de la planta, el año de construcción (las más modernas tienen menores costos de inversión y consumos), la unidad monetaria y el tipo de cambio euro-dólar, el período de amortización de la inversión, el coste de oportunidad, el coste de la energía, la inclusión o no de otros sistemas (captación, almacenamiento y vertido) y los efectos de ayudas financieras públicas (De la Cruz, 2006,p.21).

Para este estudio se han considerado datos obtenidos de 4 fuentes publicadas del 2001 al2007, con los que se ha elaborado al2007, con los que se ha elaborado la **Tabla 5**

Costos de desalación. Para obtener así unos costos promedio totales, como también se tendrá en cuenta sólo el costo por osmosis inversas debido a que este es el método que se plantea en esta investigación.

Tabla 5
Costos de desalación.

AUTOR	INVERSION USD/m3 día	RANGO CONSUMO kWh/m3	RANGO TOTAL USD/m3
De la Cruz(2006)	658 a 1191	3 a 4.5	0.35 a 1.25
Latorre(2004)	1105	3.1 a 3.4	0.38
Torres, (2004)	647	2.9	0.44
Clayton(2015)	1316	3.2 a 4.5	1.27a 1.68

Fuente: Elaboración propia con base en las fuentes citadas.

Al realizar el promedio y desviación estándar nos arrojó los siguientes valores señalados en la Tabla 6.

Tabla 6
Cuadro promedio de costo.

AUTOR	INVERSION USD/m ³ día	RANGO CONSUMO kWh/m ³	RANGO TOTAL USD/m ³
De la Cruz(2006)	1191	4.5	1.37
Latorre (2004)	1105	3.4	0.38
Torres (2004)	647	2.9	0.44
Clayton(2015)	1316	4.5	1.68
Promedio	1064.75	3.825	0.9675
Desviación estándar	292	0.8	0.66

Fuente: Elaboración propia.

Condensación

Psicrometría

La psicrometría es la ciencia que estudia las propiedades termodinámicas del aire húmedo. Dado que el dispositivo busca obtener agua a partir de la humedad del agua, será de vital importancia conocer que mecanismo llevan a esta agua a condensarse (Rodríguez, 2016).

El aire es una mezcla de nitrógeno, oxígeno y pequeñas cantidades de otros gases. Normalmente, el aire en la atmosfera contiene cierta cantidad de vapor de agua (o humedad) y se conoce como aire atmosférico, por lo siguiente se tratará el aire como una mezcla de vapor de agua y aire seco. Además, puesto que las presiones de interés son bajas, se puede utilizar el modelo de mezcla de gases ideales. Con dicho modelo se puede hablar de presiones parciales de cada uno de los componentes de la mezcla, si la temperatura es tal que la presión de saturación

del agua es igual a la presión parcial del vapor de agua en la mezcla y se condensa la primera gota a esto se le llama temperatura de rocío (Cengel et al., 2003).

- Humedad específica: La humedad específica se denomina la masa de vapor de agua (m_v) presente en una unidad de masa de aire seco (m_{as}) (conocida también como relación de humedad). (Cengel et al., 2003).

$$x = \frac{m_v}{m_{as}} \quad (1)$$

- Humedad relativa: La humedad relativa es la relación de la cantidad de humedad que el aire contiene (m_v) respecto a la cantidad máxima de humedad que el aire puede contener (m_g) (Cengel et al., 2003).

$$HR = \frac{m_v}{m_g} = \frac{p_v}{p_g} \quad (2)$$

Es importante resaltar que la entalpía del aire húmedo se puede dividir en dos contribuciones.

- Entalpía sensible: aquella relacionada con el calentamiento del aire seco, es decir, asociado únicamente a la variación de la temperatura.
- Entalpía latente: relacionada con la variación de humedad específica, es decir con el calor latente de evaporación de agua.

De cualquier modo, para cálculos con propiedades termodinámicas del aire húmedo se utilizan los llamados diagramas de psicrometría como el de psicrométrico. Que para una presión atmosférica determinada, representan la temperatura la humedad absoluta y relativa, grado de saturación, temperatura de rocío, volumen específico y entalpía específica (Rodríguez, 2016).

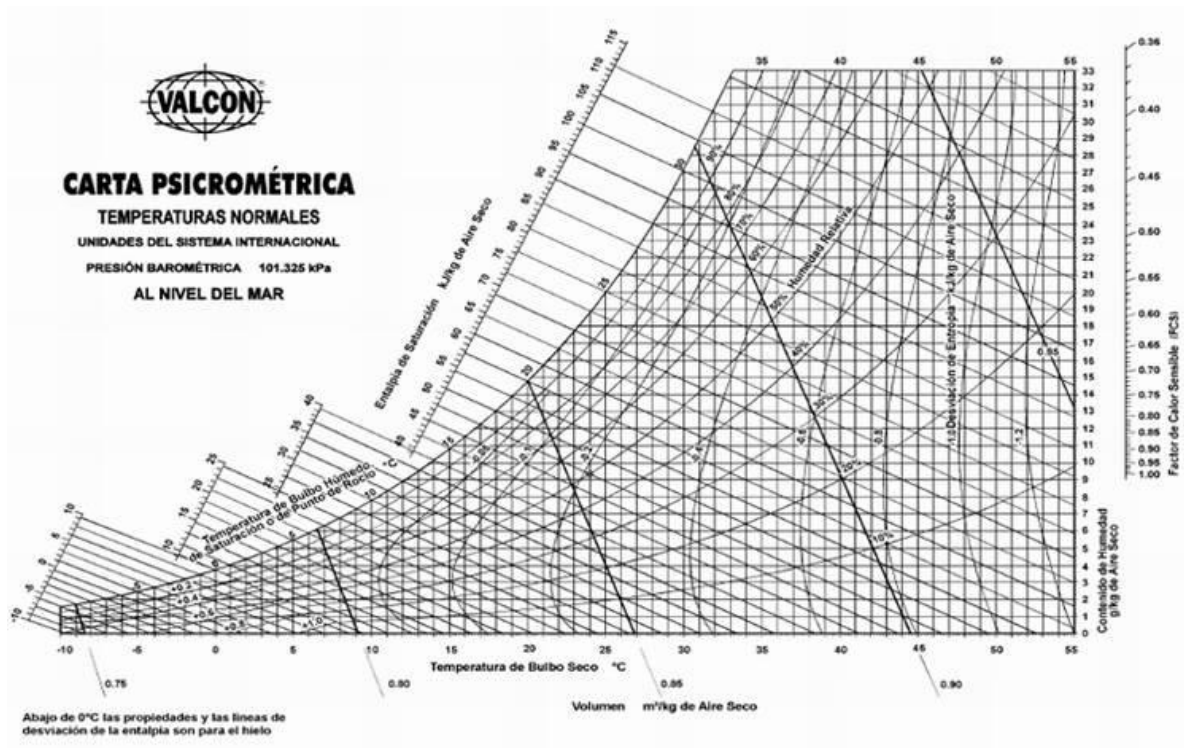


Figura 0.12 Diagrama psicrométrico.

Fuente.(Rodríguez, 2016)

Conviene aclarar que la parte a la izquierda de la curva de saturación en el diagrama corresponde a nieblas, es decir un equilibrio liquido-vapor con el líquido en suspensión. En la Figura 0.13 Líneas características en el diagrama psicrométrico. Se presentan las indicaciones para poder leer el diagrama anterior(Rodríguez, 2016).

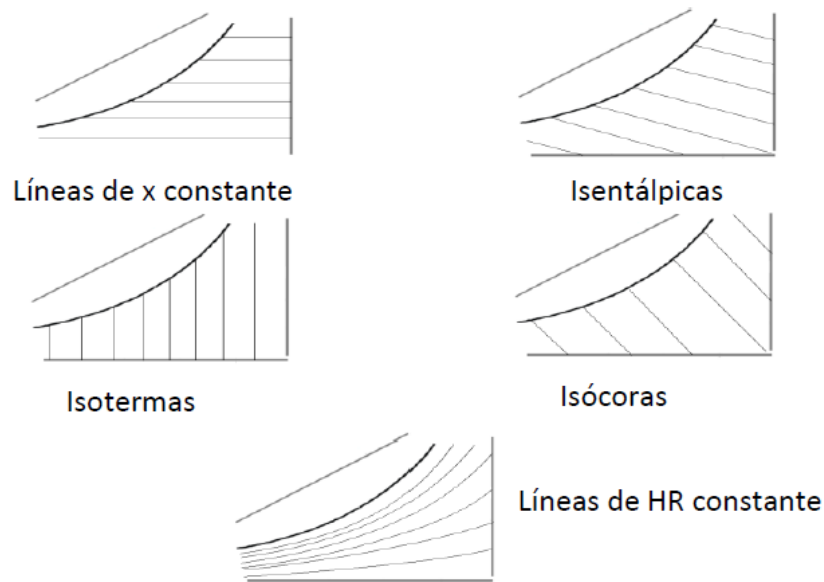


Figura 0.13 Líneas características en el diagrama psicrométrico.
Fuente.(Rodríguez, 2016)

Humidificación

Cuando se aporta agua líquida a una corriente de aire, esta se enfría y aumenta su humedad absoluta. Para que esto ocurra la temperatura del agua líquida debe ser superior a la del rocío del aire inicial, pues en caso contrario el aire se secará, este proceso puede considerarse isoentálpico (Rodríguez, 2016) ,como se muestra en la Figura 0.14.

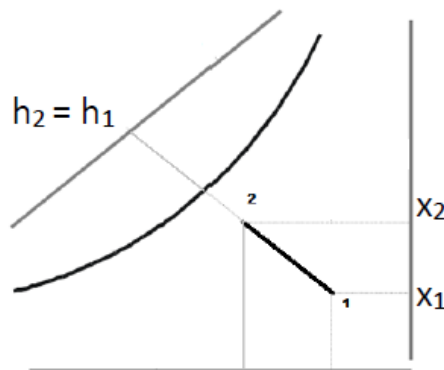


Figura 0.14 Humidificación adiabática por aporte de agua líquida.
Fuente.(Rodríguez, 2016).

Mezcla de dos caudales húmedos

La mezcla de dos caudales húmedos se representa en el diagrama psicrométrico según se muestra en la figura siempre que los dos puntos estén al mismo lado de la curva de saturación.

Para este caso es fácil llegar a qué:

$$\frac{m_{a1}}{m_{a2}} = \frac{w_2 - w_3}{w_3 - w_1} = \frac{h_2 - h_3}{h_3 - h_1} \quad (3)$$

Donde se están mezclando las corrientes 1 y 2 para dar lugar a la 3, y m se refiere al caudal másico de cada corriente.

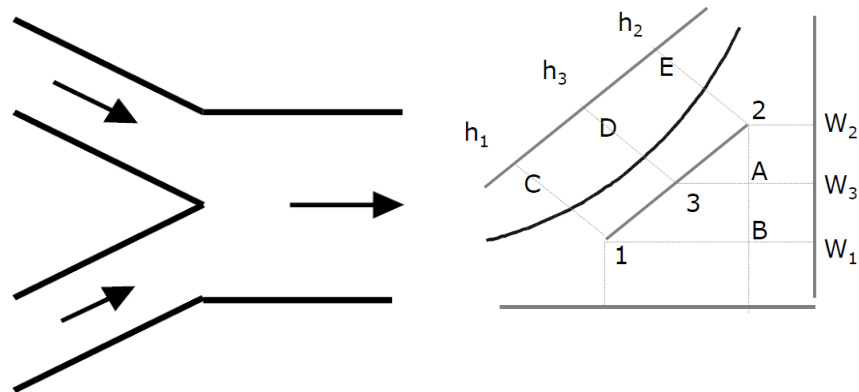


Figura 0.15 Mezclas de dos caudales de aire húmedo.

Fuente.(Rodríguez, 2016)

Al mezclar dos corrientes de aire saturado se formará niebla, y si se mezclan dos corrientes a distintos lados de la curva de saturación, no se podrá considerar válida la relación

entre temperaturas antes expuesta, ya que parte del agua absorberá o cederá calor al cambiar de fase (Rodríguez, 2016).

Enfriamiento con deshumidificación

La humedad específica del aire permanece constante durante un proceso de enfriamiento simple, pero su humedad relativa aumenta. Si la humedad relativa alcanza niveles extremadamente altos, tal vez sea necesario eliminar algo de humedad en el aire, es decir, deshumidificarlo, para esto es necesario enfriar el aire por debajo de su temperatura de rocío. (Cengel et al., 2003,p.146).

El proceso de enfriamiento consiste en que el aire humedad entra a la sección de enfriamiento en el estado 1. A medida que pasa por los serpentines de enfriamiento, su temperatura disminuye y su humedad relativa aumenta a humedad específica constante. Si la sección tiene la longitud suficiente, el aire alcanzará su punto de rocío.

Debido a que el contacto entre la superficie fría y el aire no es perfecto, no todo el vapor condensará, quedando parte del aire con condiciones entre la inicial y la de completa deshumidificación.

Ciclo de compresión mecánica simple

El ciclo de compresión mecánica simple basa su funcionamiento en que un fluido (el refrigerante) absorbe calor al evaporarse, permitiendo así disminuir la temperatura de aquello que se quiera enfriar. Por otra parte, el fluido cederá calor al ambiente cuando se condense, cerrando así el circuito. Si, por medio de un compresor y una válvula de expansión, se consigue variar la presión de tal modo que la temperatura a la que se evapora es menor que la de condensación, se podrá extraer calor de un foco a temperatura baja para devolverlo a otro de mayor temperatura (Rodríguez, 2016).

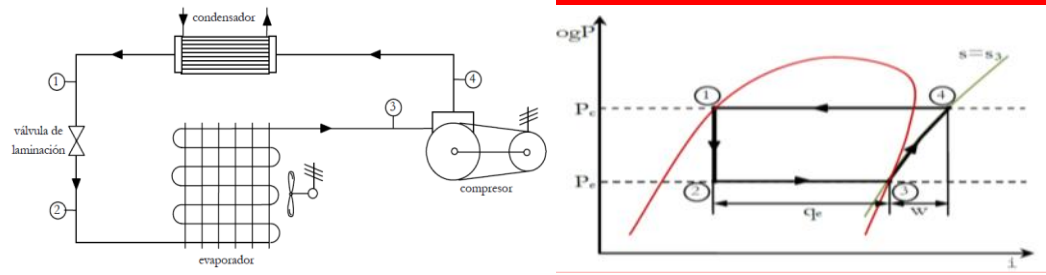


Figura 0.16 Esquema del ciclo de compresión mecánica simple.

Fuente: (Rodríguez, 2016).

Tal y como se aprecia en la Figura 0.16 se debe aplicar un trabajo mecánico externo. Según el primer Principio de la Termodinámica, el calor cedido por el condensador corresponde a la suma de lo absorbido por el evaporador y el aplicado por el compresor. Como también se comprueba en la figura, si la presión del evaporador se mantiene fija y si se genera una disminución en la presión del condensador esta conducirá a una reducción del trabajo aportado sin cambiar el calor que extrae el evaporador (Rodríguez, .2016).

Realizando sencillos balances de energía se llega a que la eficiencia termodinámica del ciclo es:

$$\varepsilon = Q_e W = \frac{h_3 - h_1}{h_4 - h_3} \quad (4)$$

Donde Q_e es la potencia calorífica extraída por el evaporador, W la potencia mecánica aportada por el compresor para la entalpía específica de cada punto en la Figura 0.16. Según la potencia requerida de enfriamiento, por ende, el valor de vapor que mueve el condensador se determinara por el caudal másico. A esta relación se la conoce como desplazamiento volumétrico unitario del compresor (DVU), que para un volumen específico v , será:

$$DVU = \frac{v_3}{h_3 - h_1} \quad (5)$$

A este ciclo se le deben realizar las siguientes correcciones para acercarlo más a la realidad las cuales se evidencian en la Figura 0.17

- La aspiración del compresor no debe ser de vapor saturado, sino de vapor recalentado para evitar la cavitación. Este recalentamiento podrá ser útil, en caso de que se realice en el evaporador o inútil si no extrae calor del foco.
- La compresión isentrópica no es posible ya que dicho proceso consiste en mantener la entropía de un fluido o gas constante, por lo que disminuye la eficiencia.
- En todas las tuberías y componentes se producen pérdidas de carga, que también dan lugar a un aumento de la potencia del compresor y una disminución de la frigorífica.

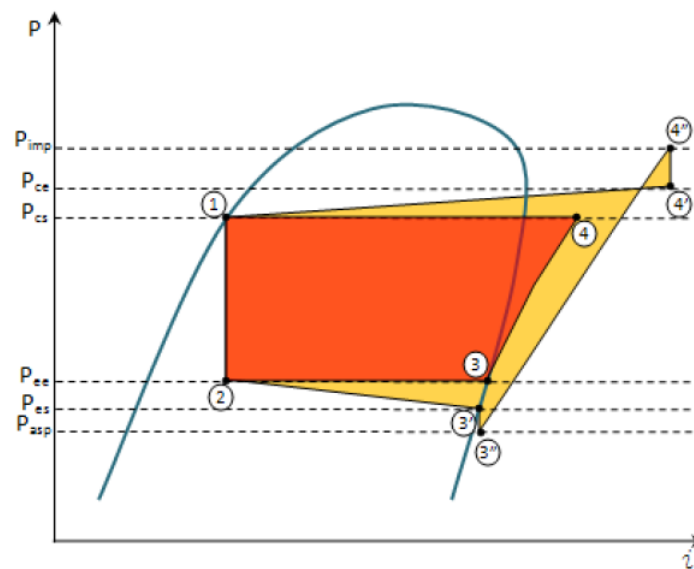


Figura 0.17 Diagrama del ciclo real.

Fuente: (Rodríguez, 2016)

Aplicación del ciclo de compresión mecánica simple a la obtención de agua

Como se ha visto en el apartado anterior, para obtener agua por el proceso de condensación se hace necesario enfriar una corriente de aire teniendo en cuenta que las temperaturas de aire en sus condiciones ambientales y la temperatura de rocío son lo suficientemente cercanas, se puede utilizar un ciclo de compresión mecánica simple para este enfriamiento permitiendo conseguir un buen rendimiento (Rodríguez, 2016).

Al realizar el proceso de enfriar un corriente aire para condensar agua, se debe consigue reducir su humedad específica y la corriente de salida tendrá una temperatura inferior, esta corriente fría para refrigerar el condensador del ciclo se puede usar para así obtener un menor gasto energético en el compresor debido a que esto permite acercar las temperaturas entre las que trabaja el ciclo. Las ecuaciones utilizadas este dispositivo son mencionadas en los apartados anteriores (Rodríguez, 2016). Dicho proceso se evidencia en la Figura 0.18

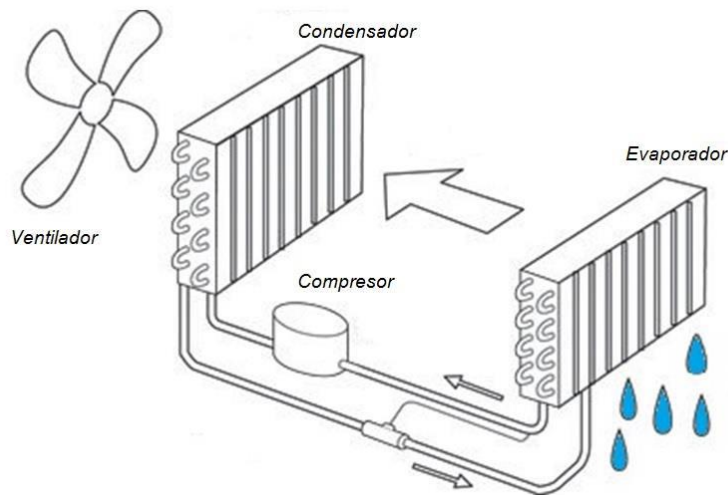


Figura 0.18 Ciclo de obtención de agua.

Fuente: Rodríguez Pajarón.2016.

Refrigerantes

El refrigerante es un fluido utilizado por todos los componentes expuesto en el apartado anterior, medioambientales este se debe escoger según su función y sus características es por esto por lo que este debe cumplir con unos requisitos químicos, físicos y termodinámicos, pero también de seguridad y medioambientales. Teniendo en cuenta que no existe un refrigerante idóneo se procede a elegir uno en función de sus características (Rodríguez, 2016).

Evaporador

El evaporador es el componente encargado de extraer calor de la corriente de aire, consiguiendo con ello que se enfríe. Con este fin, el flujo de refrigerante se evapora absorbiendo calor. Dado que el refrigerante se encuentra a baja presión, el cambio de fase se produce a baja temperatura, por lo que la corriente de aire que se desea enfriar está más caliente, siendo así posible el intercambio térmico. El evaporador se encuentra entre la válvula de expansión, de la que se obtiene vapor saturado con muy poco título -ya que se encuentra a presión y temperatura de saturación-; y descarga a la aspiración del compresor vapor seco. (Rodríguez, 2016,p.16)

Condensador

El condensador es el componente del ciclo de refrigeración encargado de disipar el calor absorbido en el evaporador y cedido por el compresor. Se trata por tanto de un intercambiador de calor, en el que el fluido refrigerante pasa de estado gaseoso a líquido.(Rodríguez, 2016,p.22)

Según Rodríguez (2016) este calor cedido por el refrigerante es absorbido en otro fluido, que sirve para clasificar los condensadores en tres tipos fundamentales:

- Condensadores refrigerados por aire: una corriente de aire, movida por un ventilador, sirve de foco frío.

- Condensador evaporativo: una corriente de aire sobre la que se rocía agua aumenta su humedad a lo largo del intercambiador, lo que le lleva a absorber calor. Aumenta también, como en el caso anterior, su temperatura.
- Condensador refrigerado por agua: un intercambiador de calor por el que circula agua como foco frío sirve de condensador. El agua se suele enfriar, a su vez, en una torre de refrigeración.

Compresor

El compresor es el dispositivo que se encarga de mantener el salto de presiones en el circuito frigorífico. Para ello presuriza una corriente de gas a la salida del evaporador, según las necesidades térmicas de cada momento, hasta a presión de saturación correspondiente a la temperatura del condensador (Rodríguez, 2016).

Según Rodríguez (2016) para caracterizar a un compresor se emplean dos tipos de rendimientos:

- Rendimiento isentrópico: Consiste en el rendimiento térmico de la máquina, haciendo una comparación con el que tendría si efectuase el mismo salto de presiones por vía isentrópica.
- Rendimiento volumétrico: Se refiere a la cantidad de volumen que el compresor regula con relación al que aspira convirtiéndose en una medida del aprovechamiento de su volumen.

Impactos ambientales

Según Rodríguez (2016) el funcionamiento condensador presenta cuatro impactos ambientales principales, cuyas características y magnitud se discuten a continuación:

- **Desecación y calentamiento del ambiente:** Este dispositivo debido a que realiza el trabajo de condensar agua a través de la humedad de aire convirtiéndose en una máquina frigorífica ella utiliza un foco caliente en el ambiente y debido a que este dispositivo no está diseñado para trabajar en edificios cerrados y residenciales, sino en el exterior.
- **Consumo eléctrico:** El condensador consume una potencia eléctrica la cual genera un impacto ambiental y este gasto energético dependerá de la fuente de la que provenga.
 - **Refrigerante:** Los refrigerantes son fluidos los cuales cuentan con importantes implicaciones ambientales.
- **Ruidos:** Al momento de realizar el proceso de condensación esta máquina produce ruidos en el compresor y el ventilador como también en las bombas de la depuración y por el paso del aire a través de los intercambiadores.

Reglamento Técnico del Sector de agua potable (RAS)

El reglamento técnico del sector de agua potable (RAS) es en el cual establece las condiciones requeridas para la concepción y el desarrollo de sistemas de recolección y evacuación de aguas residuales y lluvias, considerados como convencionales. Así mismo orienta la planificación, el diseño, la construcción, la supervisión técnica, la operación, el mantenimiento y el seguimiento de la operación de estos sistemas y sus componentes.

También incluye lineamientos para los elementos que conforman los alcantarillados de aguas residuales, lluvias y combinados como sistemas de recolección, manejo y evacuación de aguas residuales y/o lluvias, sus diferentes componentes y estaciones de bombeo y las

recomendaciones mínimas para formulación, diseño, construcción, puesta en marcha, operación y mantenimiento de los sistemas de acueducto, alcantarillado y aseo, de forma que se logre con esta infraestructura prestar un servicio con una calidad determinadas.(RAS, 2010)

El RAS en su última actualización la resolución 0330 del 2017 versión utilizado en este proyecto, define las redes de distribución como el conjunto de tuberías destinadas al suministro en ruta de agua potable a las viviendas y demás establecimientos municipales, públicos y privados. Estas redes comienzan su trayecto de los tanques de almacenamiento y de compensación e incluyen además de las tuberías, los nodos, las válvulas de control las válvulas reguladoras de presión, las ventosas, los hidrantes, las acometidas domiciliarias y todos los demás accesorios y estructura complementaria necesaria para la correcta operación del sistema.

En este literal del Título B se incluyen los estudios previos, las condiciones generales, los parámetros de diseño, los aspectos de la puesta en marcha, los aspectos de la operación y los aspectos del mantenimiento de todas las estructuras y accesorios que conforman la red de distribución. Las disposiciones enumeradas a continuación tienen como objetivo conseguir la durabilidad, la seguridad, la economía y la correcta prestación del servicio con respecto a las condiciones de uso requeridas para cada caso, teniendo en cuenta los objetivos de saneamiento e higiene perseguidos para atender la población. Los diferentes aspectos se discriminan para los cuatro niveles de complejidad del sistema, de tal manera que el consultor, la persona prestadora del servicio o el constructor de una red de distribución de agua potable o de su ampliación debe conocer de antemano en qué nivel de complejidad del sistema se clasifica su trabajo, con el fin de identificar cuáles son los aspectos que debe tener en cuenta(RAS, 2017) .

En el RAS en el literal apartado 7 literal 7.3 nos presenta las condiciones generales las cuales se presentarán a continuación:

- La red de distribución primaria o red matriz de acueducto, es el conjunto de tuberías mayores que son utilizadas para la distribución de agua potable, que conforman las mallas principales de servicio en el municipio y que distribuyen el agua procedente de las líneas expresas o de la planta de tratamiento hacia las redes menores de acueducto.
- Las redes matrices son los elementos sobre los cuales se mantienen las presiones básicas de servicio para el funcionamiento correcto del sistema de distribución general. Para todos los niveles de complejidad del sistema no puede haber conexiones directas de suscriptores a las tuberías que conforman la red matriz.
- Las redes de distribución secundaria y menores son el conjunto de tuberías destinadas al suministro en ruta del agua potable a las viviendas y demás establecimientos municipales públicos y privados.
- En los municipios de nivel de complejidad del sistema alto, se consideran como redes de distribución secundaria a las tuberías de diámetros comprendidos entre 150 mm y 250 mm, y como redes de distribución menores las comprendidas entre 75 mm y 100 mm, las cuales se alimentan desde las redes matrices y reparten agua en ruta. La red primaria está conformada por las tuberías con diámetros de 300 mm y superiores.
- En los municipios de nivel de complejidad del sistema medio alto, se consideran como redes de distribución secundaria las tuberías de diámetros comprendidos entre 62.5 mm y 100 mm, las cuales se alimentan desde las redes matrices y reparten agua en ruta. La red primaria está conformada por las tuberías con diámetros de 150 mm y superiores.
- En los municipios de nivel de complejidad del sistema medio y bajo, se consideran como redes de distribución secundaria las tuberías de diámetros comprendidos entre 50 mm y

75 mm, las cuales se alimentan desde las redes matrices y reparten agua en ruta. La red primaria está conformada por las tuberías con diámetros de 100 mm y superiores.

Posibles Conflictos

Colombia se ha considerado un país de conflicto porque ha estado macado por la violencia que han representado las luchas armadas en el país, porque han sido irrespetado los derechos de las comunidades indígenas al realizar diferentes proyectos. El territorio “Sumain” para las comunidades indígena aparte del valor económico tiene un valor espiritual y cultural importante, dado que es considerado un espacio físico donde se materializan las diferentes creencias religiosas y espirituales de las comunidades indígenas. Dichas creencias son parte del su estilo de vida y contribuyen a su desarrollo personal, además de algunos otros procesos en su relación con otras comunidades o las ciudades modernas (L.Martinez Quintero, 2014).

Los derechos indígenas se fundamentan en la Constitución Política de Colombia en los artículos 6 y 7 donde garantizan plenamente de los derechos humanos y las libertades fundamentales de los indígenas como cualquier otro ciudadano, en el artículo 4 se les otorga a los pueblos indígenas el derecho de autonomía en cuanto a la toma de sus decisiones relacionados con sus asuntos internos y locales. En cuanto los derechos territoriales el artículo 330 se toma en cuenta las entidades territoriales indígenas y cabildo dejando claro en el parágrafo 330 que “La explotación de los recursos naturales en los territorios indígenas se hará sin desmedro de la integridad cultural, social y económica de las comunidades indígenas. En las decisiones que se adopten respecto de dicha explotación, el Gobierno propiciará la participación de los representantes de las respectivas comunidades.” (Constitucion Nacional, 1991 , p.143).

Convenio 169 de la Organización Internacional del Trabajo (OIT), donde se estipula que el estado es el encargado de cumplir del disfrute de los derechos y las libertades donde debe

procurar que estas se cumplan. Mientras que la OIT a través del convenio 169 ratificado el 7 de agosto de 1997 por el Estado Colombiano y firmado el 9 de junio de 1989 sobre los pueblos indígenas y tribales se manifiesta a respetar sus culturas y tradiciones propias (Villalba, 2015).

En cuanto la ONU y la OEA han declarado ciertos proyectos sobre los derechos de los indígenas, de los cuales ensucian su derecho al disfrute pleno de todos sus derechos humanos y libertades fundamentales reconocidos en la Carta de las Naciones Unidas y otros instrumentos para protección de los derechos humanos. Los cuales fueron estipulado con el propósito de reunir argumentos para posibles violaciones de los derechos humanos de los indígenas en Colombia, entre ellos los Wayuu, ante la comunidad internacional (Villalba, 2015).

Escenarios de conflictos

1. Parque Eólico Jepírachi: Este proyecto fue inaugurado el 21 diciembre del 2003 siendo la fase inicial del proyecto nacional “Aprovechamiento Eólico de la Alta Guajira” convirtiéndose en el primer proyecto de este tipo en el país y siendo nuestro primer registro antes las Naciones Unidas de las estrategias de Colombia contra el cambio climático. Este se planteó con el propósito de desempeñar funciones investigativas con respecto a la viabilidad del desarrollo de energía en Colombia, por lo que le permite contar con los beneficios tributarios brindados por la ley 788 del 2002 para garantizar altos rendimientos y una perspectiva de los mejores escenarios posibles para la energía eólica en Colombia (L.Martinez Quintero, 2014). El PEJ fue desarrollado por Empresas Públicas de Medellín (EPM) la cual desarrollo un proceso de investigación en cuanto a los regímenes de vientos, por las cual fueron instalados alrededor de 10 estaciones en las rancherías Kasushi, Arutkajüi, Kasiwolin, Punta Coco, Mauripao, Taroa, Bahía Hondita y Puerto Estrella, siendo escogido los Arütkejüi, Kasiwolin y del sector de

Media Luna del pueblo Wayuu el cual está ubicado en la Alta Guajira en el municipio de Uribia, entre el Cabo de la Vela y Puerto Bolívar dicho proyecto presento conflictos al ser ubicado dentro de la comunidad por el cual se tuvo que realizar un convenio con los clanes indígenas pertenecientes a este territorio (L.Martinez Quintero, 2014).

2. Carbones del Cerrejón Limited: El proyecto de El Cerrejón se inicia en 1975 con la licitación de 17 empresas para explotación de carbón en un área en el departamento La Guajira, siendo ganadora la compañía *International Colombia Resources Corporation* (Intercor), filial de *Exxon Mobil Corporation*. A raíz de la ampliación del Cerrejón, varias comunidades Wayuu perdieron su territorio entre ellas la comunidad de Media Luna la cual fue utilizado para construir el Puerto de Embarque de Carbón como también fueron desplazadas Manantial, Roche, Chancleta, Tamaquitos, Palmarito, El Descanso, Zarahita o Patilla. Aunque la empresa y la comunidad se enfrentaron en una negociación por una indemnización para la reubicación de la comunidad, sin que ésta última lograra sus expectativas (Villalba, 2015). Se determinó que estaban siendo afectadas por el impacto ambiental causado desde la polución del polvillo del carbón en el aire como también la contaminación sonora y los movimientos de la tierra a raíz de las explosiones cielo abierto en la mina a raíz de esto las minas fueron destruidas y reubicadas hacia las comunidades Caracolí y Espinal Estos daños motivaron una Acción Popular interpuesta por la Contraloría General de la Nación en el año 2002 contra El Cerrejón Limited, sin embargo los indígenas siguieron siendo afectados por el desplazamiento de otras comunidades como la raizal del caserío de Tabaco .Luego se produjeron los desalojos violentos hacia los pobladores que no estaban de acuerdo con lo ofrecido por el cerrejón

que fueron desde la suspensión de los servicios públicos y domiciliarios hasta el desvío del río en beneficio de la compañía.

3. Desvío del arroyo Bruno: Este proyecto se presenta bajo el nombre de “La Puente” el cual surge como rechazo de la comunidad al proyecto P500 o Li“wouyaa “sembrando el futuro” como lo denominó la empresa, que en lengua wayuunaiki significa “las estrellas que anuncian la llegada de la primavera”. Este proyecto consiste en expandir el cerrejón para aumentar la explotación de carbón de 32 a 40 millones de toneladas anuales para el 2015 y posteriormente a 60 millones para el año 2033 año en que termina supuestamente la concesión. Lo cual implicaba hacer la desviación del río Ranchería en 26,5 kilómetros principal fuente de suministro de agua en la Guajira (E.Palmarroza, 2017). A raíz de esto se inicia este proyecto que según el Cerrejón presentado en su página oficial en cuanto al Proyecto “La Puente “manifiesta que las obras consisten en mover en 700 metros al norte un tramo de 3,6 km del arroyo Bruno para protegerlo del avance de la operación minera en el tajo La Puente, de acuerdo con el Plan de Manejo Ambiental (PMA) vigente. Sin embargo, esto no fue del agrado de la comunidad debido a que se estaría excluyendo a ciertas comunidades del acceso de este arroyo siendo principal fuente del sustento de estas (E.Palmarroza, 2017).

Si bien es importante resaltar que este proyecto se ejecutara dentro del municipio de Manaure que de acuerdo a la constitución política de 1991 en el artículo 311 y respaldado por la ley 136 del 2 de Junio de 1991 se considera una entidad territorial fundamental de la división política-administrativa del estado, la cual cuenta con autonomía política ,administrativa y fiscal dentro de lo establecido por la constitución y leyes de nuestro país reconociendo al alcalde como

máxima autoridad y siendo necesario sólo el permiso de este para ejecutar el proyecto, aunque se le comunicara a líderes indígenas con el fin de mejorar su estilo de vida.

Método

En el presente capítulo se hará una descripción de los pasos necesarios que se llevarán a cabo para el cumplimiento de los objetivos planteados. En la Figura 0.1 se muestra un esquema del proceso.

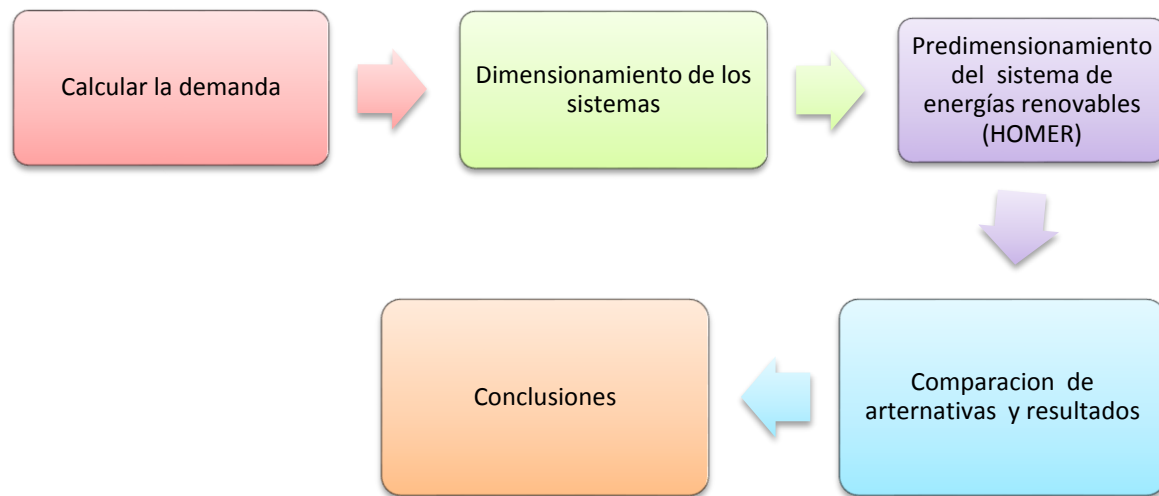


Figura 0.1 Método.

Fuente. Elaboración propia.

Calcular la demanda

Se consultaron antecedentes y documentación minuciosa acerca de los censos poblacionales de los últimos años en Colombia, para conocer la población del municipio de Manaure – La Guajira y así saber el caudal de alimentación requerido teniendo en cuenta los reportes presentados por el Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE).

Teniendo en cuenta los censos los censos de los años 1985, 1993, 2005 presentados por el DANE se notó que hubo un crecimiento significativo los cuales se evidencian en la Tabla 7. Tomando estos datos se realizó la proyección de crecimiento poblacional para un periodo de 25

años, teniendo como referencia la ecuación establecidas por el DANE para realizar la proyección.

Tabla 7
Tasa de crecimiento

Año	Población censo	Tasa de Cr%
1985	5.632	
1993	4.200	-2%
2005	26.066	16%

Fuente: Elaboración propia

Luego de tener los resultados de la proyecciones realizadas por los diferentes métodos, se realizó el cálculo del caudal de diseño, para esto, se utilizó el RAS se comenzó con la asignación del nivel de complejidad teniendo en cuenta la altura sobre el nivel del mar ,se prosiguió a escoger la dotación neta mínima y el porcentaje máximo admisible de pérdidas técnicas para el cálculo de la dotación bruta y así llegar a obtener el caudal medio diario , el caudal máximo diario y caudal máximo horario y asimismo el periodo de diseño .

- Dotación neta bruta.

$$d_{bruta} = \frac{d_{neta}}{1-\%p} (11)$$

Donde:

dbruta: dotación bruta [L/Hab-dia]

dneta: dotación neta

%p: pérdidas máximas admisible

- Caudal medio diario

$$Qmd = \frac{p * d_{bruta}}{86400} (12)$$

Donde:

Qmd: caudal medio diario [L/seg]

dbruta: dotación bruta, dada en metros cúbicos/habitantes mes En esta ecuación

- Caudal máximo diario

$$QMD = Qmd * k_1 \quad (13)$$

Donde:

QMD: caudal máximo diario [L/seg]

Qmd: caudal medio diario

k1: coeficiente de consumo máximo diario

El coeficiente de consumo máximo diario, k1, se obtiene de la relación entre el mayor consumo diario y el consumo medio diario, utilizando los datos registrados en un período mínimo de un año. En caso de sistemas nuevos, el valor del coeficiente de consumo máximo diario, k1, será 1.2 de acuerdo a lo establecido en el RAS.

- Caudal máximo horario

$$QMH = Qmd * k_2 \quad (14)$$

Donde:

QMH: caudal máximo horario [L/seg]

Qmd: caudal medio diario

k2: coeficiente de consumo máximo horario

El coeficiente de consumo máximo horario con relación al consumo máximo diario, k2, puede calcularse, para el caso de ampliaciones o extensiones de sistemas de acueducto, como la relación entre el caudal máximo horario, QMH, y el caudal máximo diario, QMD, registrados durante un período mínimo de un año, sin incluir los días en que ocurran fallas relevantes en el servicio.

En el caso de sistemas de acueductos nuevos, el coeficiente de consumo máximo horario con relación al consumo máximo diario, k2, corresponde a un valor de 1.2 de acuerdo a lo establecido en el RAS.

Dimensionamiento del sistema

Desalación

El proceso de desalación se propone por medio del osmosis inversa de mar. Se ha considerado un sistema de bomba-motor, sistema de recuperación y *booster* el cual es un tipo de bomba que permite aumentar la presión de manera eficaz pudiendo así aprovechar la energía de la salmuera aumenta la eficiencia de la planta al aprovechar la energía presente en la salmuera de rechazo. Proceso que consiste en hacer pasar al agua de alimentación a baja presión por el interior del intercambiador generando un el intercambio de presiones otorgando la presión que porta el rechazo.

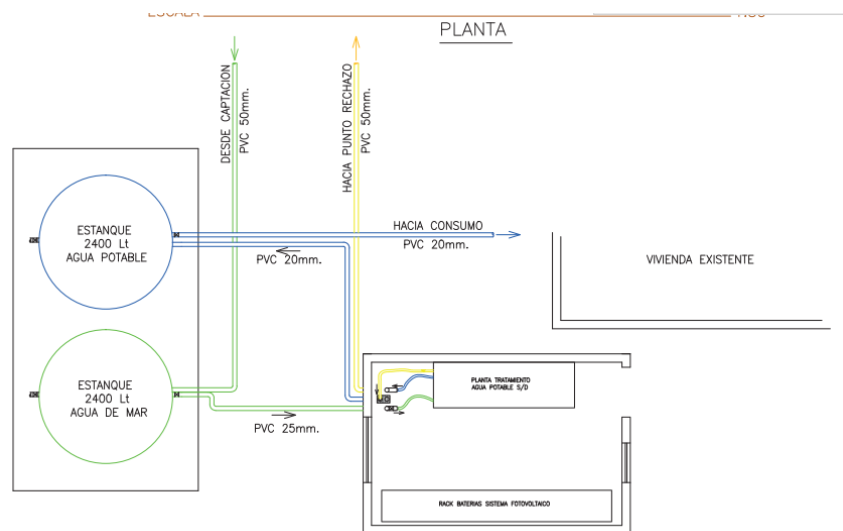


Figura 0.2 Sistema de desalación (osmosis inversa)

Fuente. (Álvarez & Benavides, 2013)

- Captación de agua de mar

El sistema de una planta desoladora se inicia con la toma o punto de captación del agua que va a alimentar el sistema. Las dos formas más comunes de captar el agua bruta son mediante toma de agua abierta o cerrada. La toma de agua abierta consiste en la toma mediante un canal o toma mediante submarino. La toma de agua cerrada se da mediante un pozo es la más favorable

y la que siempre hay que intentar construir. Sin embargo, ello implica la permeación de caudales, a veces importantes, a través de los distintos estratos del terreno, que no siempre es posible lograr (López, 2016).

En este proyecto se decide tomar como solución la toma de agua cerrada. A pesar del desconocimiento de las características del terreno, para este ejercicio asumimos que es posible obtener una calidad de agua de captación mucho más adecuada que en el caso de tomas de agua superficiales, así que se supone que la permeabilidad es adecuada.

El núcleo de la desalación consta de la bomba de alta presión, el bastidor de membranas, un sistema de recuperación de energía y una bomba booster.

- Bomba de alta presión: bomba de cámara partida del fabricante

Flowserve<<https://www.flowserve.com/en>>

- Bastidor de membranas: se opta por la utilización de membranas con alto rechazo de boro proporcionadas por el fabricante

Hydranautics<<https://www.lenntech.com/products/membrane/romembranes.>>

- Recuperador de energía: intercambiador de presión de la marca Calder.
- Bomba booster: bomba proporcionada por el fabricante

Flowserve<<https://www.flowserve.com/en>>.

- Rechazo o salmuera

Dentro del aprovechamiento de la salmuera existe una gran variedad de tecnologías, que pueden funcionar como un independiente o como un híbrido de múltiples procesos para así poder recuperar recursos. Estos pueden clasificarse ampliamente como basado en membranas y térmicas, y su principio básico de funcionamiento junto con su aplicación reciente en la recuperación de recursos (Musthafa et al., 2019). Estas se discuten en las siguientes secciones.

- Cristalización de destilación de membrana (MCR)

La cristalización de la destilación de membrana es un híbrido de destilación y cristalización de membrana en el que la salmuera se satura y luego se sobresatura para facilitar la formación de cristales, que finalmente se recogen en un cristizador externo. Estos cristales se pueden formar una distribución específica del tamaño del cristal y estos cristales se pueden modificar para formar superestructuras de cristal específicas.

- Cristalización por congelación eutéctica (EFC)+

La cristalización por congelación eutéctica (EFC) implica la cristalización simultánea del hielo y la sal. Como el hielo, la sal y la solución tienen diferentes densidades en el punto eutéctico, pueden separarse por métodos gravimétricos. Este proceso consiste en enfriar la salmuera por debajo de su punto de congelación y cuando alcanza una cierta temperatura, los cristales comienzan a formarse dando como resultado una mezcla de salmuera/cristales de hielo. El enfriamiento adicional aumenta la concentración de sal y la formación de cristales de hielo.

- Ósmosis retardada por presión (PRO)

La ósmosis retardada por presión (PRO) es esta tecnología emergente para la recolección de energía de gradiente de salinidad mediante la separación de un disolvente de una solución presurizada concentrada. Utilizando la energía libre al mezclar agua dulce con salmuera para generar energía. Aunque este proceso no es beneficioso por la suciedad severa por el efluente de residuos en este proceso.

Otra alternativa que se propone es enviar una lancha emisaria para el transporte de la salmuera a una cierta distancia de la costa donde no afecte a la salinidad del agua de captación. Esta forma de disposición de este residuo del proceso se ha sido considerado adecuado en otros

sistemas tal como lo exponen López(2016) ,Jorreto, Sánchez, & Pulido(2007),Bonilla & Martínez(2017).

Condensación

Para el proceso de condensación se consultaron antecedentes y documentación minuciosa del diseño y el cálculo de un ciclo de compresión mecánica simple, para la utilización de un dispositivo capaz de obtener agua potable a partir de la humedad del aire.

Se investigaron datos por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) de la estación llamada “Monguí” [15065190] ubicado en Riohacha donde se tuvo en cuenta la humedad relativa y a partir de esto se escoge el tipo de máquinas que debido a sus especificaciones resultan favorables para el municipio de Manaure –Guajira.

- Estimar el sistema de energías renovables (HOMER)

Se hace necesario determinar el recurso eólico y solar existente en el lugar de estudio. Para el recurso eólico se utilizaron datos suministrados por el IDEAM de la estación llamada “Monguí” [15065190] para cuantificar el potencial de energías renovables en la zona. Mientras que en el recurso solar se importaron datos través de software como HOMER Energy.

- Análisis de los resultados

A partir de los resultados obtenidos luego de los estudios realizados se determina el más adecuado en términos de obtención potable de agua en el municipio.

- Conclusiones

A partir de los resultados obtenidos (de la evaluación del sistema propuesto) y se concluirá a partir de los mismos si los objetivos propuestos fueron cumplidos y las distintas sugerencias que se tendrán acerca del sistema propuesto.

Estudio de caso

Según el programa de las naciones unidas para el desarrollo (PNUD) oficina de Colombia el Departamento de La Guajira se encuentra ubicado en el extremo norte del país y de la llanura del Caribe, en la parte más septentrional de la América del sur; localizado entre los 10°23' y 12°28' de latitud norte y los 71°06' y 73°39' de longitud oeste. Este departamento cuenta con una superficie de 20.848 km² lo que simboliza el 1.8 % del territorio nacional. Limita por el Norte con el mar Caribe, por el Este con el mar Caribe y la República de Venezuela, por el Sur con el departamento del Cesar, y por el Oeste con el departamento del Magdalena y el mar Caribe. Este Municipio se encuentra ubicado estratégicamente cerca al mar Caribe del cual recibe beneficios naturales y hermosas playa.

Manaure es un municipio colombiano del departamento de La Guajira caracterizado principalmente por estar ubicado en las salinas marítimas más importantes del país.es considerado también como el centro turístico de la guajira, y se caracteriza mucho por la hermosura de sus vegetaciones, el fresco del medio ambiente y sobre todo la belleza de sus mares. Manaure nació como un asentamiento nómada de indígenas y los primeros inicios de habitantes no indígenas se remontan al año 1723 aproximadamente. De acuerdo a la tradición oral, Manaure debe le debe su nombre al resplandor del Cacique Manaure. Con respecto a las investigaciones que se hicieron efectivamente pudieron dar que con nuestro país vecino la república de Venezuela existió dicho cacique indígena en la tribu caquetio siendo esta de las más prestigiosas, el cual respondía al nombre de Manaure; este indígena principalmente se mostraba muy amigable con los conquistadores y los evangelizadores, pero más adelante se enfrentó a los españoles, y en el año 1821 fue asesinado (PNUD-La Guajira, 2013).

Descripción geográfica Manaure

El municipio de Manaure se ubica en la más septentrional de las penínsulas suramericanas (Península de la Guajira), está situada en el extremo nororiental de la República de Colombia y de América Austral. En el municipio se encuentra el Resguardo Indígena de la Alta y Media Guajira de la comunidad wayuu; ocupa una estratégica posición marítima y fronteriza; abarca toda la región de la Alta Guajira y una parte de la Media Guajira. Este limita al norte con el mar caribe, al nororiente con el municipio de Uribí, al sur con el municipio de Maicao y al occidente con el municipio de Riohacha (Alcaldía Municipal de Manaure, n.d.)

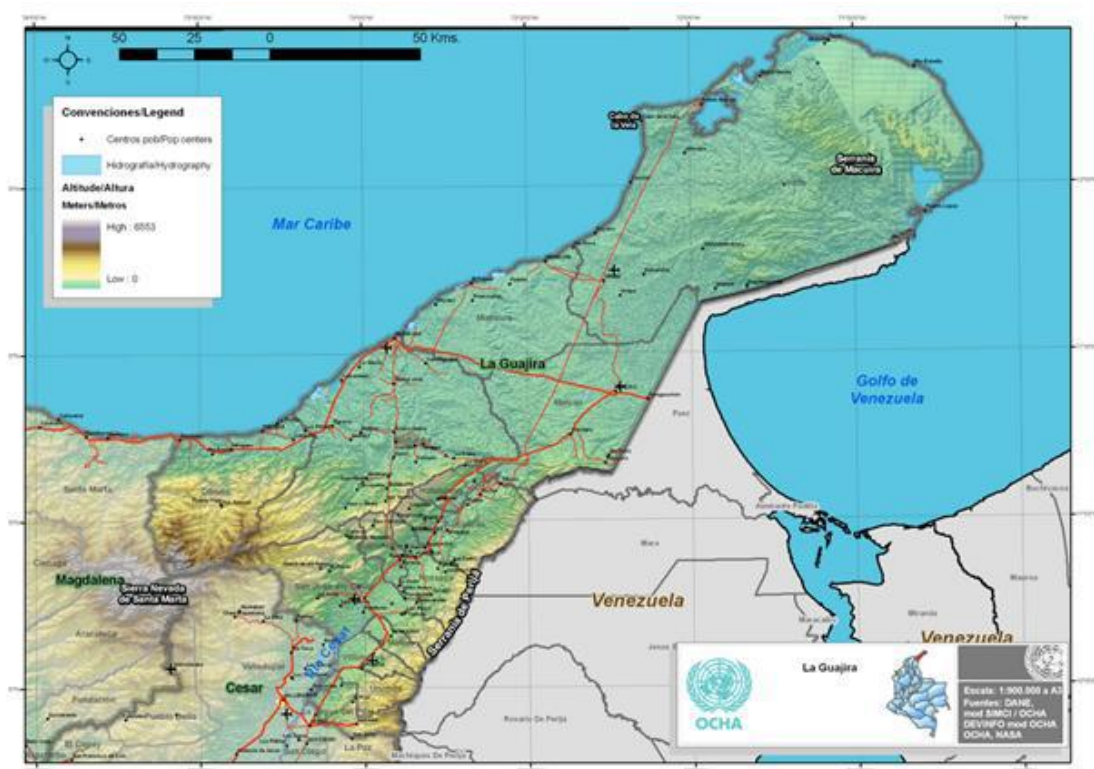


Figura 0.1 Ubicación del municipio de Manaure La Guajira.

Fuente: (Cortes & Lesmes, 2014)

El Municipio de Manaure está comunicado con el Municipio de Uribí, la Guajira por una carretera asfaltada y en mal estado de 20 km de longitud; con el Municipio de Maicao, la Guajira, por la ruta de Cuatro Vías, con una carretera de 38 km de longitud (asfaltada gran parte),

y, por la misma ruta con Riohacha a 95 km de distancia. Existe una vía carreteable que comunica la cabecera urbana del municipio con Puerto Bolívar, y otras vías en mal estado que comunican con El Cabo de la Vela, Bahía Honda, Puerto Taroa, Puerto Estrella, Puerto Inglés, Puerto López y Nazaret(Alcaldía Municipal de Manaure, n.d.).

Características climáticas de Manaure

Manaure se caracteriza por tener un clima cálido tropical, también se ve muy refrescado por las brisas marinas del noreste; casi todo el año permanece con temperaturas que varían entre los 28 °C y los 38 °C. Esto tiene que ver con las altas temperaturas y a la intensidad de los vientos hacen que la evaporación sea muy alta, los vientos del noreste causan la época de mayor sequía, las lluvias son muy escasas y sólo se dan en los meses de mayo, junio, octubre y noviembre, las precipitaciones se ven muy afectadas por la dirección y velocidad de los vientos son muy cortas y fuertes, llegando a descender en algunos lugares con una intensidad de hasta 150 milímetros en un sólo aguacero(Alcaldía Municipal de Manaure, n.d.)

Manaure en su totalidad es una llanura plana rocosa y suavemente ondulada, en la que prevalecen las dunas del litoral, las lagunas marinas, playones arcillosos y salinas entre el Pájaro y Mayapo, y se ven influenciadas por inundaciones prolongadas; entre Manaure y Ahuyama la costa se hace más pequeña en acantilados bajos las capas arcillosas que conforman la planicie de la Media y Alta Guajira(Alcaldía Municipal de Manaure, n.d.).

Manaure corresponde a la cuenca del Caribe, donde sus escorrentías de agua son en su gran mayoría arroyos muy caracterizados por su régimen eventual o irregular: Pero con crecidas más largas y de intensidad media; en su totalidad el municipio está rodeado por el mar Caribe y la cabecera municipal es atravesada por el arroyo Limón para luego converger a orillas del mar Caribe. También se presentan aguas subterráneas siendo estas las más aprovechadas y utilizadas

por la comunidad indígena. El mar Caribe que rodea la costa, es la fuente más grande y abundante e importante de agua convirtiéndose no sólo en generador de alimentos sino como elementos primarios para la industria de la sal, base de la economía de esta región(Alcaldia Municipal de Manaure, n.d.).

En Manaure se encuentran corrientes de agua en su totalidad arroyos; en general Manaure está rodeado por el mar Caribe y la cabecera municipal es atravesada por el arroyo Limón que también es un humedal donde podemos encontrar una gran cantidad de especies nativas y migratorias. La flora de Manaure está caracterizada por cactus, tunas; también se da el trupillo, árbol que es propio del desierto guajiro, además se ve muy favorecido por el clima y sus terrenos ya que ayudan mucho al cultivo de la sábila y el aloe vera. (Alcaldia Municipal de Manaure, n.d.)

Características socio económicas

Este municipio presenta una economía basada en la minería de la sal que surte un 90% de sal que consume Colombia en procesos culinarios e industriales, estas salinas permiten el sustento de muchas familias que se ven beneficiadas con la explotación de este recurso natural, también esta economía se basa en la pesca artesanal, la agricultura en el medio semidesértico en los que se han adaptado los Wayuu.(Consejo Territorial para la Gestión del Riesgo de Desastres, 2015)

En cuanto a la comunidad rural en el corregimiento de El Pájaro existen las mayores reservas de GAS probadas del país en los campos de Chuchupa I y II, Ballenas y Riohacha. La explotación de gas en la Guajira está siendo llevada a cabo por la empresa de CHEVRON PETROLEUM COMPANY, según el contrato de asociación Guajira “A”, celebrado con ECOPETROL, en un área total de 81.974 Hectáreas. De acuerdo a dicho contrato de asociación

el 60% de la producción en la operación asociada le corresponde al estado colombiano y el 40% al asociado. De este 60%, el 20% le corresponde a La Guajira como regalía.

Según el Consejo Territorial para la Gestión del Riesgo de Desastres (2015) en Manaure se encuentran las salinas marítimas más importantes del país. En un área aproximada de 4.071.45 hectáreas. Las subdivisiones más importantes son:

- Área de evaporación, con un total de 3.633 hectáreas.
- Charca shorshimana; con 39.67 hectáreas; la cristalización y la cosecha la realizan los indígenas.
- Charca Manaure: con 30.45 hectáreas. Es un área de explotación mecanizada.
- La Nodriz, donde se encuentra la salmuera óptima para cargar los cristalizadores, tiene un área de 92 hectáreas.
- Cristalizadores del área mecanizada: con 206.21 hectáreas.
- Cristalizadores del área artesanal: con 79.12 hectáreas.

Cobertura de agua potable

El departamento de La Guajira ha sufrido desde su fundación por la falta de agua potable y sólo el 16.3% de la comunidad rural de Manaure dispersa tiene disponibilidad al agua potable. Además, sólo el 4% tiene acceso a sistemas de saneamiento básico mejorado. El 83.7% de las comunidades rurales obtienen el agua a través de fuentes de aguas contaminadas y las comunidades presentan infraestructuras deterioradas ya que no proveen el suministro de agua.

Según el Plan de Desarrollo, el alcance del problema desde la parte hídrica del departamento, la identificación de las poblaciones rurales e indígenas dispersas con su problemática puntual y posible solución de las cuales unas si y otras no tienen disponibilidad al agua potable, no está adecuadamente documentado ni sistematizado de manera que permita

cuantificar, clasificar, costear y priorizar proyectos e inversiones de forma sistemática y organizada en un PGEI Rural, de manera que permita establecer una solución estratégica sostenible que resuelva la compleja situación del sector rural(El Herald, 2018a).

Cobertura de agua potable en el municipio de Manaure

Según investigaciones realizadas por Riohacha, La Guajira, jueves 13 de septiembre de 2018. Ellos empezarían a operar el primer módulo de pilas públicas en la Guajira el cual consiste en implementar un esquema sostenible de acceso a agua potable para las comunidades rurales indígenas dispersas de la media y alta Guajira, teniendo en cuenta las características sociales, culturales, ambientales y económicas del territorio, este proyecto les permitiría entregar a las comunidades indígenas wayuu, así fue anunciado por el ministro de vivienda, ciudad y territorio durante su periodo de ministerio Jonathan Malagón que realizo dicha visita a la planta de producción casa azul ubicada está en el municipio de Manaure(Minivivienda, 2018).

Con estos modelos de pilas publicas buscan demostrar que hay soluciones tecnológicamente alternativas que nos permiten con mayor calidad y eficiencia lograr la consecución del líquido suficiente para poder abastecer a las comunidades que es lo que se necesitaría al final del día, que toda la comunidad tenga este recurso hídrico en sus mayores niveles de potabilización y de manera permanente y continua. Era lo que se quería en el gobierno del ministro ya mencionado (Minivivienda, 2018).

La planta casa azul sería el primer centro de producción de agua de las seis pilas que llevaran el recurso hídrico a las comunidades cercanas como lo son Betania, Arroyo Limón, La Tuna, Porque, Atapu y Casa Azul, beneficiando a 12 mil personas. Hoy en día ya fue inaugurada la planta casa azul proyecto que se había anunciado en 2017 en los municipios de Maicao y Manaure en la guajira este proyecto fue puesto en práctica por la vicepresidenta de la república

marta lucia Ramírez y el ministro de vivienda anteriormente mencionado Jonathan Malagón (Minivivienda, 2018).

Con este proyecto de pilas públicas “planta casa azul” se está beneficiando hoy en día a la comunidad indígena de sararao en el municipio de Maicao y se estarían construyendo también obras adicionales para mejorar las redes de acueducto y alcantarillado de la cabecera municipal del mismo municipio. Este proyecto transformaría la realidad de la guajira en materia de agua potable con estas pilas públicas de Casa Azul se ha duplicado el acceso de agua potable en la zona rural de la alta guajira pasaron del 4% al 9% (Minivivienda, 2018).

Dentro de este proyecto de pilas públicas, se realizó también una optimización a la planta de agua potable existente en Manaure y para este año se proporcionarán 6 meses de asistencia técnica a dicha planta para realizar un mejor proceso de operación de su esquema de trabajo.

El proyecto financiado por el Ministerio de Vivienda tuvo una inversión de \$4.108 millones de pesos. La meta de la cartera es que a 2020 se construyan 13 módulos de Pilas Públicas, que beneficiarán a 80 mil personas y tendrán una inversión total de \$80 mil millones de pesos.

Después de visitar la planta de producción, el ministro, el viceministro de Agua, José Luis Acero y la comitiva, llegaron al corregimiento de Rumonero en Riohacha, en donde con ayuda de la Armada de Estados Unidos se construirá un pozo de agua potable que beneficiará a 9.000 indígenas Wayuu (Minivivienda, 2018).

Resultados y discusión

Una vez descrito el método, en esta sección se muestran los principales resultados obtenidos, cada uno referente a cada una de las fases del proceso. Estos resultados son presentados y discutidos a continuación.

Determinación de la población del municipio de Manaure – la guajira y del caudal utilizado para la simulación.

Como se mencionó anteriormente con bases en las proyecciones por el DANE se realizó la proyección del crecimiento poblacional para un periodo de 25 años, describiendo el comportamiento que ha tenido la población. En los censos se puede notar que el crecimiento entre los censos del año 1993 y 2005 se presentó un comportamiento atípico en comparación al mostrado por el país para el mismo periodo. Martínez Ortiz(2019) afirma que el crecimiento poblacional significativo presentado en La Guajira se le atribuye que es un departamento fronterizo y se presentan frecuentes movimientos poblacionales debido a los flujos entre los dos países, como también a que la nación wayuu tiene su territorio en Colombia y en Venezuela. Además, importante considerar la llegada masiva ciudadanos del vecino país debido a la situación del vecino país convirtiendo el departamento en un lugar transitorio. Por esta razón utilizar esta proyección se podría sobrestimar el valor del total de personas en la zona de estudio, tal vez mas allá de la capacidad de la región de absorber la población. Así que, para el presente estudio, la autora decidió diseñar con base en 100.000, facilitando el análisis a través del escalamiento de los costos y capacidades instalada

Cálculo del caudal

Teniendo en cuenta la población se realizó el cálculo del caudal en base a lo establecido RAS. Se procedió a asignar el consumo o la dotación neta mínima de agua necesaria para el

diseño de la planta de desalación. Esta se escoge según el nivel de complejidad con base en la altura sobre el nivel del mar de agua necesaria para el diseño de la planta de desalación, teniendo en cuenta que el municipio se encuentra a 3 metros sobre el nivel del mar se le asigna un nivel de complejidad alta como se evidencia en la Tabla 8, lo que corresponde a que su dotación mínima será de 140 L/hab-d

Tabla 8.
Nivel de Complejidad

NIVEL DE COMPLEJIDAD DEL SISTEMA	DOTACIÓN NETA MÍNIMA (L/HAB-D)
>2000 m.s.n.m	120
1000-2000 m.s.n.m	130
< 1000 m.s.n.m	140

Fuente: Elaboración propia

De esta manera, se tuvo en cuenta el nivel de complejidad del sistema para establecer los porcentajes máximos admisibles de pérdidas técnicas para el cálculo de la dotación bruta por cada uno de los habitantes del municipio de Manaure, El RAS establece que para las estructuras hidráulicas no deben superar el 25% por este motivo se toma un valor del 20% tomando como referencia la versión anterior de este reglamento en donde se establece que para el nivel de complejidad se asigna este valor.

Se relacionaron todos los datos presentados anteriormente se construyó la Tabla 2 donde se establece el caudal de diseño empleado para la planta y se calcula el caudal medio diario, caudal máximo diario y el caudal máximo horario teniendo en cuenta las ecuaciones establecidas en este documento.

Tabla 9
Cálculo del caudal

Cálculo del caudal.									
POB LACIÓN	D neta Max (L/Hab- dia)	9 PERDI DA	D bruta (L/Hab- dia)	Q md (L/Seg)	F ACTOR K1	Q MD (L/seg)	F ACTOR K2	Q MH (L/seg)	
100.000	1	2	1	2	1.	2	1.	2	
	40	0%	75.00	02.55	2	43.06	2	92	

Fuente: Elaboración propia

Con el caudal máximo horario (QMH) presentado en la tabla se pasó a diseñar el sistema de condensación y desalación, tomando como caudal de diseño 292 L/seg para una planta diseñada para atender a 100.000 personas.

Dimensionamiento del sistema

Sistema de Desalación

Para el dimensionamiento del sistema de desalación, se tienen en cuenta, las especificaciones y la conformación del mismo, lo cual se explica detalladamente en el ítem de metodología. Es necesario conocer el gasto de energía que realiza la planta desaladora, detallando el consumo de la planta de alta presión y el consumo de la bomba *booster*, datos que fueron suministrados por la empresa fabricante Flowserve < <https://www.flowserve.com/en> > En la tabla se muestra la relación de estos.

Tabla 10
Consumo específico de la desaladora

Elemento	Consumo especifico(kwh/m3)	Modelo
Captación	0.72	Flowserve MBLC100-80-60
Desalación	2.77	Flowserve 2K6x4M-10HRV M3SM
Total	3,49	

Fuente: Elaboración propia

Teniendo el consumo específico es cual es de 0.0035 kWh/l se pasó a hallar la demanda mínima de energía necesaria para suministrar el caudal de diseño de 292 l/s las cual nos arrojó un valor de 87.948 kWh/día con esto se obtuvo la demanda horaria la cual dio un valor de 3.665 kWh siendo este nuestra demanda de diseño.

Sistema de Condensación

Posterior al procesamiento de los datos suministrados por el IDEAM de los cuales se obtuvo la humedad relativa de Manaure siendo este el 74%. A partir de estos se escogieron dos tipos de máquinas que debido a sus especificaciones resultan favorables para el municipio de Manaure -Guajira ,utilizando como referencia los proyecto realizado por Rodríguez(2016) y Dolores, Torres, Contreras, & Ortiz(2015) los cuales se visualizan en las Figura 0.1 e Figura 0.2

• Aquair 5000U

Potencia	31 kW, 380V/50Hz en trifásica	
Capacidad de producción	8.400 l/día (a 30°C y 80%)	
Compresor	30 kW	
Condiciones de trabajo	5°C a 55°C y 20% a 99% HR	
Refrigerante	R407C	
Tamaño	3500-2100-2140 mm	

Figura 0.1 Condensador Aquir 5000U

Fuente.(RayAgua, n.d.)

- Water Micron - AWG-C500

Potencia	10 kW, 380V/50Hz en trifásica	
Capacidad de producción	500 l/día (a 30° y 80%HR)	
Compresor	2 compresores Daikin de 4,8 kW	
Condiciones de trabajo	15°C a 38°C y 40% a 95% HR	
Refrigerante	R22	
Defrost	Automático	
Nivel de ruido	<79dB	
Tamaño	225-75-146 cm	

Figura 0.2 Condensador WaterMicrom

Fuente. (WaterMicronWorld International, n.d.)

De acuerdo con las especificaciones y al caudal que se le debe suministrar a la población se escogió la maquina Aquir5000U debido a que esta posee las características necesarias que se adaptan a la necesidad presentada. Está máquina tiene un consumo específico de energía de 0.16 kWh/l.

Teniendo el consumo específico se pasó a hallar la demanda mínima de energía necesaria para suministrar el caudal de diseño las cual nos arrojó un valor de 403.200kWh/día luego se obtuvo la demanda horaria el cual dio un valor de 16.800kWh convirtiéndose en la demanda de diseño.

Predimensionamiento del sistema de energías renovables

Recurso Eólico

Un aerogenerador es una máquina que transforma la energía cinética del viento en energía mecánica y eléctrica. La configuración más típica son tres palas movidas por el viento, situadas en una góndola en lo alto de una torre, que giran alrededor de un eje que acciona un generador eléctrico (De la Cruz, 2006).

Se tomaron los datos suministrados por el IDEAM de la estación Monguí [15065190], los cuales nos brindan la velocidad del viento horaria desde el 2012 al 2019. Estos valores se procesaron y se encontró el promedio mensual de la velocidad del viento. Luego se pasó a escoger el aerogenerador en el municipio, tomando como referencia el parque eólico Jepírachi construido por Empresas Públicas de Medellín (EPM) ubicado en el departamento de La Guajira, en las localidades del Cabo de la Vela y Puerto Bolívar zona rural de Uribí. Dicho parque consta de 15 turbinas Nordex N 60/1300 que con capacidad de 1300 kW cuyo costo en el mercado fue 856 dólares por kW (EPM, 2002). Con base a esto se tomaron las características y fueron utilizadas en el modelo.

Recurso Solar

Granada, Orta, Díaz, Jiménez & Osorio (2013) explican que una celda solar es un dispositivo que representa la unidad fundamental de un sistema fotovoltaico. Típicamente, genera un voltaje de entre 0.5 y 0.8 V dependiendo del semiconductor utilizado y la tecnología con la que fue fabricado. Un panel solar es el conjunto de un determinado número de celdas solares (entre 36 y 72) conectadas y montadas sobre una placa metálica encapsulada por un aislante térmico (Granda et al., 2013)

Para escoger el modelo de paneles a utilizar en el parque se tomó como referencia la planta de energía renovable más grande del país ubicada en el departamento del Cesar, la cual tiene una capacidad instalada de 86.2 MW en la cual se invirtieron alrededor de 70 millones de dólares en año, de donde se deriva el valor del MW es de aproximadamente 812. dólares (Portafolio, 2019).

Según Ong, Campbell, Denholm, Margolis, & Heath (2006) después de discutir las métricas de uso de la tierra solar y nuestros métodos de recopilación y análisis de datos,

presentamos resultados totales y directos de uso del suelo para diversas tecnologías solares y configuraciones de sistemas, tanto de forma de capacidad como de generación de electricidad. El área total corresponde a todos los terrenos descerrados por el límite del sitio. El área directa comprende terrenos ocupados directamente por paneles solares, carreteras de acceso, subestaciones, edificios de servicio y otras infraestructuras. Esta área se basa según la capacidad y generación de estos.

Teniendo en cuenta el estudio anteriormente presentado se toma el valor correspondiente según la capacidad del panel, y al tener el valor de la generación de energía solar se obtiene el valor del área ocupada por el parque solar.

Generador Diésel

Para este caso de estudio, un generador Diésel de AC se tomó de referencia la central Termonorte ubicada en el Magdalena la cual tiene una capacidad de generación de 93 megavatios. Está compuesto por 10 motores de 9.3 megavatios cada uno con una inversión de 100 millones de dólares de donde se deriva el valor del MW es de aproximadamente 10.752 dólares (El Heraldó, 2018b). En cuanto al costos del litro del combustible se tomó de 80 centavos de dólar se tomó un valor alto para incentivar el uso de energías renovables.

Nota. Se considera un generador Diésel para garantizar el abastecimiento de energía en aquellos casos en que no sea posible obtener energía a partir de las fuentes renovables consideradas en el diseño óptimo del sistema según la modelación en Homer.

Simulación y optimización en HOMER

Teniendo la información descrita en los literales anteriores se pasa a realizar la simulación en el software como HOMER Energy Legacy Version2.68

<<https://www.homerenergy.com/>>.

Con base en el caudal requerido y su correspondiente demanda de energía necesaria para su producción, se utiliza la modelación Homer para estimar la configuración inicial óptima del sistema. Se consideran como energías renovables, para el sistema modelado, la solar y la eólica, conforme a lo siguiente:

- *Generación del recurso Eólico*

Los datos del recurso Eólico luego de ser procesados, tomando en cuenta la estación del IDEAM “Monguí” [15065190]. Considerando para el sistema modelado una altura de 50 m para la turbina ,se pasó a procesar una serie temporal de 25 años para obtener el promedio de velocidad para cada hora del año ,permitiendo introducir esta serie de 8760 en HOMER a fin de modelar el recurso eólico como se evidencia en la **Figura 0.3**:

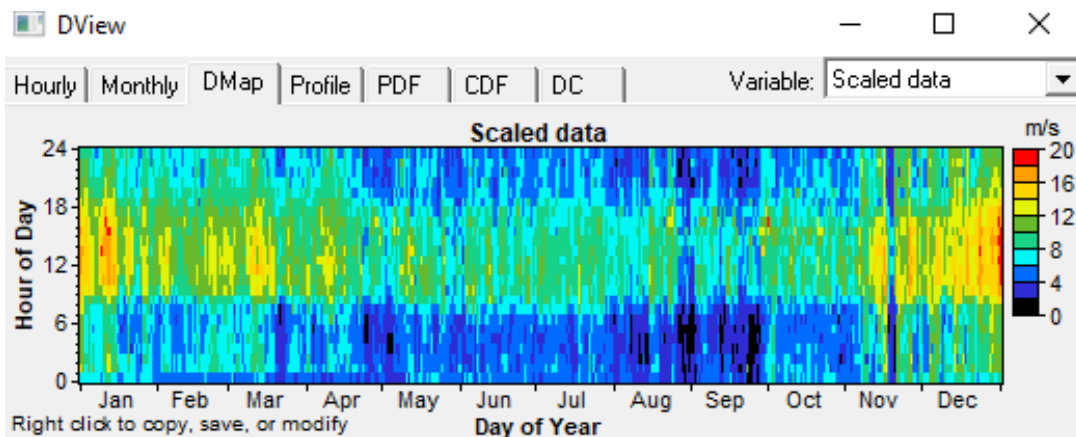


Figura 0.3 Recurso Eólico

- *Generación del recurso Solar*

Los datos del recurso solar fueron importados desde el software el cual se basa en el trabajo de V.A. Graham Hemos encontrado que este algoritmo produce datos realistas por hora, y es fácil de usar debido a que sólo requiere la latitud y los promedios mensuales. Este método programa genera una matriz FV para calcular los valores promedio mensuales del índice de radiación y los evidencia en tablas y gráfico para así a través de este mismo simular y encontrar

opciones viables de sistemas de energías renovables capaces de abastecer los sistemas. En la Figura 0.4 se evidencia la escala del promedio mensual de la radiación solar en el municipio.

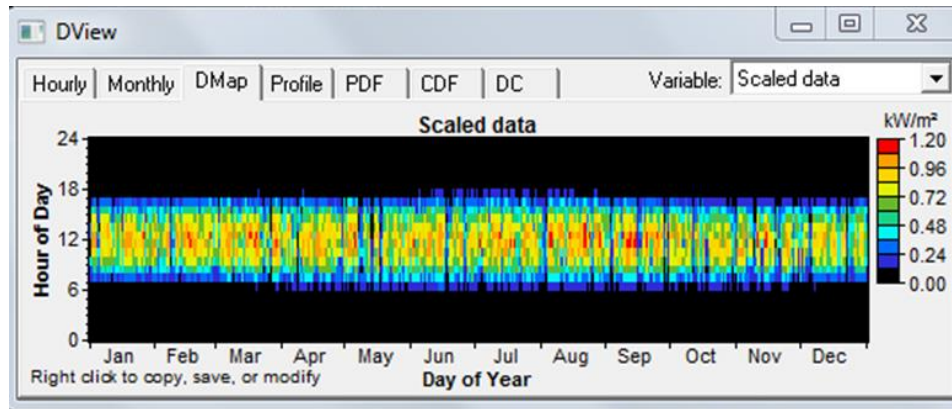


Figura 0.4 Recurso Solar.

Consideraciones adicionales

- El uso energía en el sistema de desalación o se distribuyó dentro de un periodo de 24 horas para el recurso eólico y un periodo de 9h para el recurso solar.
- La tasa del mantenimiento y operación es del 3% del costo de inversión, con base a los datos recopilada a través de entrevistas y encuestas, la actividad típicamente representa entre el 1 % y 5% como lo exponen EPRI(2015), Lemming, Morthorst, Clausen, & Jensen, (2015).
- El ángulo de inclinación de los paneles se ajuste mes a mes y no se tiene en cuenta el efecto de temperatura.
- Según Lemming, Morthorst, Clausen, & Jensen, (2015) la tasa de descuento para proyectos para de energías renovables se ubican entre 3.5 % hasta el 12 % para aquellas que tiene impactos sociales y ambientales positivo . Por +tanto, en el siguiente trabajo o se escoge una a la tasa del 6% que está en líneas con los valores presentado en la literatura
- Capacidad máxima de fallas anuales en la generación 0%.

- Reserva operacional de un 10%.
- Porcentaje de reserva operacional 15% para ambos recursos.

Resultados

Al tener toda la información necesaria se digitó y se realizó la simulación dando como resultado por el sistema de desalación lo presentado en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..** y para el sistema de condensación se evidencia en la Figura 0.6.

Se le recuerda al lector que la optimización de Homer se realiza con base en el proyecto que presente el mínimo costo presente neto, lo cual se resume en todos los costos asociados al proyecto utilizando un factor de descuento para traerlos a valor presente. En la Figura 0.5 e Figura 0.6 según las posibles combinaciones de los diferentes componentes(Paneles solares, aerogeneradores, generador diésel) se observa que todos los sistemas viables necesitan tener un generador diésel para atender aquellos momentos en los que variabilidades de las energías renovables ocasionarían apagones.

Calculate

Simulations: 0 of 2016

Progress:

Sensitivities: 0 of 2

Status:

Sensitivity Results

Optimization Results

Sensitivity variables

Primary Load 1 (kWh/d)

87,876

Double click on a system below for simulation results.














			PV (kW)	AIR	Gen (kW)	Initial Capital	Operating Cost (\$/yr)	Total NPC	COE (\$/kWh)	Ren. Frac.	Diesel (L)	Gen (hrs)
				18	6000	\$ 26,482,012	4,001,326	\$ 77,632,392	0.189	0.94	2,847,221	2,679
			1000	18	6000	\$ 27,294,076	3,982,815	\$ 78,207,816	0.191	0.94	2,802,372	2,644
			10000		6000	\$ 14,572,263	10,248,965	\$ 145,588,432	0.355	0.44	8,838,008	7,018
					6000	\$ 6,451,613	13,407,978	\$ 177,850,576	0.434	0.00	12,222,...	8,760

Figura 0.5 Resultados Sistema de Desalación.

Nota. Si se escoge la segunda opción que se evidencia en la Figura 0.5 el área utilizada por los paneles según Ong, Campbell, Denholm, Margolis, & Heath(2006) según su capacidad el

área sería de 2.9 Acres los cuales equivalen aproximadamente 0.4ha con la generación de energía solar la cual equivale a 1.8 GWh/yr dando un resultado 0,644ha.

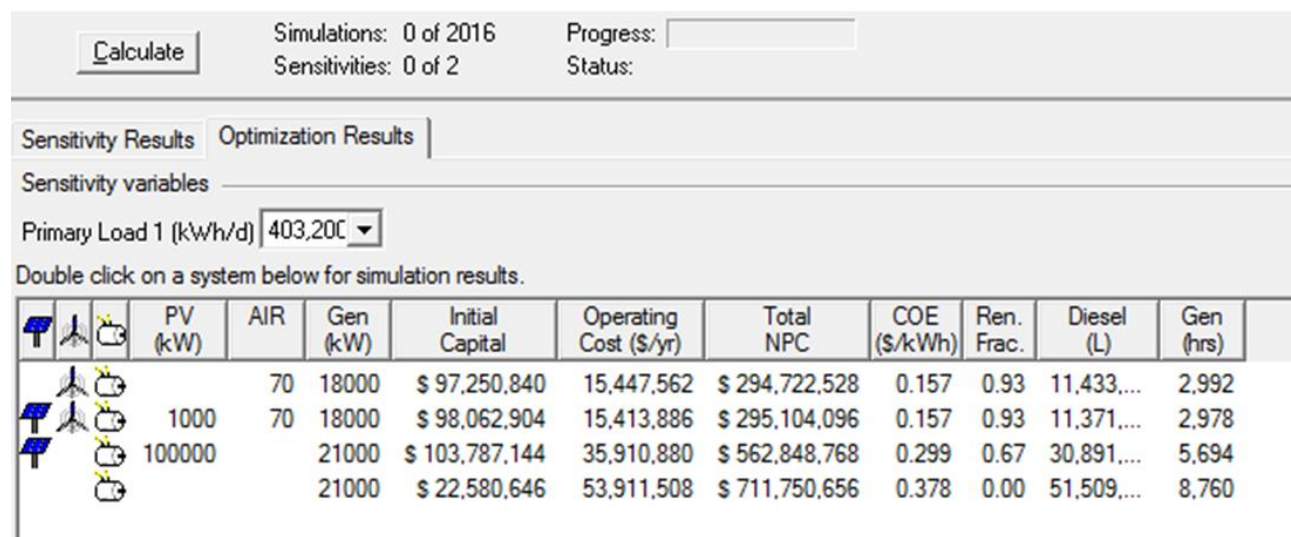


Figura 0.6 Resultados Sistema de Condensación.

En las ilustraciones anteriores se encuentran 13 columnas de las cuales: PV Corresponde al parque solar; AIR número de turbinas; Gen se refiere al generador Diésel; NPC indica el valor presente, que usa un factor de descuento y horizonte del proyecto; COE Costo del kw; Ren.Frac es el porcentaje de la energía provista por energía renovable; Label Hours Indica las horas que trabaja el generador Diésel; y las demás son definidas como su nombre lo indica.

Al tener ambos resultados se presenta la configuración óptima en términos de menor costo presente de ambos sistemas los cuales se presenta en la Tabla 11. Costo total del proyecto

Tabla 11. Resultados simulación.

	Desalación	Condensación
Costo inicial (USD)	26.428.012	97.250.840
Costo de operación (USD)	4.001.326	15.447.562
Costo total del valor presente neto (USD)	77.632.392	294.722.528
Costo del m3 (USD)	0.65961	25.12
Costo del kW (kwh/l)	0.189	0.157

Generador Diésel (MW)	6	18
Turbinas	18	70
% del uso de energías renovables	94	93
Energía por litro (kwh/l)	0.00349	0.16
Vida útil del proyecto(años)	25	25

Finalmente, según los cálculos asumidos para cada uno de los sistemas el más adecuado es el sistema de desalación dando un costo más económico en distintos aspectos y menos número de equipo lo cual lo hace factible técnicamente.

Conclusiones

En el estudio de factibilidad técnica y económica de dos tecnologías de potabilización del agua propuestas para el municipio de Manaure en la Guajira y la cual es objeto de estudio de investigación nos lleva a realizar diversos planteamientos a fin del logro de los propósitos expuestos.

En la identificación y cuantificación de las fuentes de energías renovables en el municipio de Manaure se tuvo en cuenta: El promedio mensual de la velocidad del viento la cual para el municipio es de 7,08 m/s según datos suministrados por la estación “Monguí” [15065190] del IDEAM y el valor promedio mensual del índice de radiación solar que es de 5,85kWh/m²/d. Esta información permite conocer el potencial de energía a utilizar en la implementación de las tecnologías propuestas.

Para evaluar la factibilidad técnica y económica de la implementación de los sistemas de desalación y condensación de agua potable en el municipio de Manaure planteado en los objetivos se hizo necesario obtener el caudal y el crecimiento de la población. Es por esto que de acuerdo con los resultados del DANE para el censo del año 1998 y 2005 la población del municipio tiene un crecimiento atípico para el 2005 en comparación a los resultados del censo de 1998, teniendo en cuenta esto se tomara una población asumida de 100.000 personas para el desarrollo del proyecto.

El caudal obtenido para es de 292 l/s de acuerdo a la población establecida y a las características emanadas por el RAS. Se puede decir entonces que el nivel de complejidad para el municipio de Manaure se encuentra en la categoría alta. El resultado que se espera es agua potable apta para el consumo humano en el municipio y para que este se dé el agua debe cumplir con las características físicas y químicas establecidas en el RAS. Cualquiera de las dos

tecnologías planteadas en esta investigación proporcionaría a la población agua potable totalmente apta para su consumo.

En la desalación el residuo de la salmuera puede ser utilizada por la población para su cristalización residuo altamente apetecido en el municipio dado que se constituye en uno de las principales actividades económicas del pueblo.

La condensación por su parte ofrece también resultados favorables en la potabilización del agua y las ventajas son mayores si se tiene en cuenta que en la ejecución del sistema tecnológico se ocasiona ruido y el calentamiento del ambiente.

Para la población este proyecto representa ganancias y su implementación lejos de crear controversia y/o conflictos ofrece la posibilidad del disfrute de ese beneficio para todos. En cuanto las probables del terreno el proyecto se plantea para ser ejecutado en la cabecera municipal, donde la autoridad es ejercida por el alcalde.

En el desarrollo de las metodologías y los resultados arrojados en la investigación ofrecen mayor factibilidad el uso del sistema de desalación dado que este genera menos costos; en tanto que para el sistema de condensación se requiere de la inversión de la compra 300 condensadores, un número determinado de operarios, gastos de mantenimiento lo cual eleva los costó del sistema. Los grandes beneficiarios del proyecto lo constituyen a la población del municipio de Manaure quienes se afectarán positivamente a nivel económico, sanitario y ambiental por lo tanto ya no habrá escasez de agua en el municipio, ya que la fuente de alimentación de agua es inagotable y esto permitirá que su población sustente cada día su consumo en excelentes condiciones para un mejor estilo de vida.

Por lo anterior se recomienda en caso de implementar el proyecto tener en cuenta el factor de capacidad de 20% estimado a través de la modelación de HOMER a partir de las

características de viento en la región sugiere que no sea el más adecuado para la región, ya que se encuentra por debajo de los promedios normalmente reportados de 25% a 30%.

La comparación efectuada en presente trabajo permitió estimar de forma preliminar el costo de producir agua desalada a partir de los recursos existentes en el municipio de Manaure. Futuros estudios podrían enfocarse en los aspectos de calidad de agua relacionados a calidad del agua obtenida a través de estas tecnologías.

Referencias

- Alcaldía Municipal de Manaure. (n.d.). *Nuestro municipio - Manaure, La Guajira*. Retrieved February 18, 2020, from <http://www.manaure-laguajira.gov.co/municipio/nuestro-municipio>
- Álvarez, G. S., & Benavides, M. S. (2013). Desalación de agua de mar mediante sistema Osmosis Inversa y Energía Fotovoltaica para provisión de agua potable en Isla Damas, Región de Coquimbo. In *Unesco* (Vol. 1).
<http://www.unesco.org.uy/phi/biblioteca/archive/files/e733e28fc539e3c010d06c64bf298dce.pdf>
- Bonilla, E., & Martínez, R. (2017). DISEÑO DE UNA PLANTA DESALINIZADORA DE AGUA DE MAR. In *Археология* (Vol. 1). Universidad Santo Tomás.
- BUN-CA, B. U. N. (2002). *Manuales sobre energía renovable: Solar Fotovoltaica* (BUN-CA (ed.); 1st ed.). <http://bun-ca.org/publicaciones/FOTOVOLT.pdf>
- Cengel, Y. A., Boles, M. A., Campos Olguín, V., & Colli Serrano, M. T. (2003). Termodinamica. In *Elementi di Meccanica dei Fluidi, Termodinamica e Fisica Statistica* (7th ed.). https://doi.org/10.1007/978-88-470-3991-9_5
- Cifuentes, L., Ortiz, R., & Casas, J. M. (2005). Electrowinning of copper in a lab-scale squirrel-cage cell with anion membrane. *AIChE Journal*, 51(8), 2273–2284.
<https://doi.org/10.1002/aic.10476>
- Clayton, R. (2015). *Desalination for Water Supply*. FR/R0013(Third Edition), 52. www.fwr.org
- Consejo Territorial para la Gestión del Riesgo de Desastres. (2015). *Plan Municipal Para La Gestión Del Riesgo*. 163.
- Constitucion Nacional. (1991). *CONSTITUCIÓN POLÍTICA DE COLOMBIA 1991* (Issue Junio

13). <https://doi.org/10.12681/eadd/1834>

Cortes, L., & Lesmes, L. (2014). *Simulación De Una Planta Desalinizadora De Agua De Mar, Por Medio Del Software Ims Desing Como Estrategia Para Fortalecer El Desarrollo Social Del Norte Caribe Colombiano-Municipio De Uribí-La Guajira* [Universidad Libre /Instituto Tecnológico de Sonora - Méxic].

[https://repository.unilibre.edu.co/bitstream/handle/10901/11251/Proyecto Desalación Guajira-Colombia.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repository.unilibre.edu.co/bitstream/handle/10901/11251/Proyecto%20Desalaci3n%20Guajira-Colombia.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

De la Cruz, C. (2006). *La desalinización de agua de mar mediante el empleo de energías renovables* Carlos de la Cruz. Fundacion Alternativas.

Dolores, M., Torres, G., Contreras, J. G., & Ortiz, A. M. (2015). *Condensación de la humedad del aire : solución a la escasez de agua en regiones de Colombia como La Guajira y San Andrés Isla*.

E.Palmarroza. (2017). Análisis del impacto del agua y el territorio en las comunidades del área de influencia de la extracción minera de carbón en el Cerrejón, por la desviación del arroyo Bruno, en la cuenca del rio Ranchería, Departamento de La Guajira. (2010-2016). In *UNIVERSIDAD SANTO TOMAS DE AQUINO*.

<https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>

El Heraldó. (2018a). *Piden solución al problema del agua para La Guajira*.

<https://www.elheraldo.co/la-guajira/piden-solucion-al-problema-del-agua-para-la-guajira-490524>

El Heraldó. (2018b). *Termonorte entra a operar con inversión de USD100 millones*.

<https://www.elheraldo.co/economia/termonorte-entra-operar-con-inversion-de-usd100-millones-573400>

EPEC. (2012). *Energía renovable : la biomasa Conceptos y definiciones*.

<https://www.epec.com.ar/docs/educativo/institucional/biomasa.pdf>

EPM. (2002). Parque eólico piloto Jepirachi, informe final. *EMPRESAS PÚBLICAS E MEDELLÍN* O), 1, 275.

<http://documents.worldbank.org/curated/en/427541468248967090/pdf/multi0page.pdf>

EPRI. (2015). *Budgeting for Solar Pv Plant Operations & Maintenance : Practices. December*.

<https://doi.org/10.1038/nrdp.2015.84>

Givler, T., & Lilienthal, P. (2005). Using HOMER® Software , NREL's Micropower Optimization Model, to Explore the Role of Gen-sets in Small Solar Power Systems Case Study: Sri Lanka. *National Renewable Energy Laboratory, May*, 1–31.

<http://www.nrel.gov/docs/fy05osti/36774.pdf>

Granda, E. E., Orta, O. A., Díaz, J. C., Jimenez, M. A., Osorio, M., & González, M. A. (2013). MODELADO Y SIMULACIÓN DE CELDAS Y PANELES SOLARES E. *Congr. Int. Ing. Electrón. Mem. Electro 2013*, 35(October), 1–23. <https://doi.org/10.13140/2.1.4192.8968>

IDEAM. (2007). *Instituto de Hidrología , Meteorología y Estudios Ambientales .Pronóstico Pleamares y Bajamares Costa Caribe Colombiana*.

<http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/020230/PLEAMARES Y BAJAMARES/Caribe.pdf>

Jorroto, S., Sánchez, F., & Pulido, A. (2007). Desalación y sostenibilidad de acuíferos costeros: El caso del delta del río Andarax. *Boletín Geológico y Minero*, 118(1), 695–708.

L.Martinez Quintero. (2014). “ANÁLISIS DE LA INCLUSIÓN Y PARTICIPACIÓN DE GRUPOS INDÍGENAS EN EL DESARROLLO DE PROYECTOS DE FUENTES DE ENERGÍA RENOVABLE.” In *UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER*

FACULTAD. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>

Latorre, M. (2004). Costes económicos y medioambientales de la desalación de agua de mar. *IV*

Congreso Ibérico de Gestión y Planificación Del Agua, 16.

<http://hispagua.cedex.es/documentacion/documento/32563>

Lemming, J., Morthorst, P., Clausen, N.-E., & Jensen, P. (2015). Contribution to the Chapter on

Wind Power Energy. In *Development* (Vol. 35, Issue January 2008).

López, I. (2016). *Estudio de una planta de desalación alimentada mediante energía eólica*.

Universidad Superior de La Laguna.

López Juvinao, D. D. (2016). *Mucho más que carbón, el escenario minero de la guajira*. May

2011, 1–140.

Martínez Ortiz, A. (2019). La Guajira Caracterización Departamental y municipal. Informe

presentado a Cerrejón Minería responsable. In *Cerrejon*.

https://repository.fedesarrollo.org.co/bitstream/handle/11445/3736/Repor_Enero_2019_Martinez.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Medina, S., & Antonio, J. (2000). *Desalación de aguas salobres y de mar. Ósmosis inversa*.

<https://www.agroatiende.odepa.gov.cl/handle/123456789/57816>

Minivivienda. (2018). *Portal Minvivienda Con Pilas Publicas Gobierno Nacional llevara agua*

potable a 80 mil personas en La Guajira. [http://www.minvivienda.gov.co/sala-de-](http://www.minvivienda.gov.co/sala-de-prensa/noticias/2018/septiembre/con-pilas-publicas-gobierno-nacional-llevara-agua-potable-a-80-mil-personas-en-la-guajira)

[prensa/noticias/2018/septiembre/con-pilas-publicas-gobierno-nacional-llevara-agua-](http://www.minvivienda.gov.co/sala-de-prensa/noticias/2018/septiembre/con-pilas-publicas-gobierno-nacional-llevara-agua-potable-a-80-mil-personas-en-la-guajira)

[potable-a-80-mil-personas-en-la-guajira](http://www.minvivienda.gov.co/sala-de-prensa/noticias/2018/septiembre/con-pilas-publicas-gobierno-nacional-llevara-agua-potable-a-80-mil-personas-en-la-guajira)

Musthafa, O., Chahd, M., Ibrahim, M., Amal, A., & AlMarzooqi, F. (2019). Brine management

in desalination industry: From waste to resources generation. *Desalination*, 472(September),

18. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2019.114187>

- NOAA, N. O. and A. A. (2020). *2019 was 2nd hottest year on record for Earth say NOAA, NASA*. <https://www.noaa.gov/news/2019-was-2nd-hottest-year-on-record-for-earth-say-noaa-nasa>
- Noticias RCN. (2014). *Crisis humanitaria en La Guajira por falta de agua*.
<https://noticias.canalrcn.com/nacional-regiones-caribe/crisis-humanitaria-guajira-falta-agua>
- Ong, S., Campbell, C., Denholm, P., Margolis, R., & Heath, G. (2006). Land-Use Requirements for Solar Power Plants in the United State. *National Renewable Energy Laboratory*, 31(6), 589–590. <https://doi.org/10.1016/j.rapm.2006.08.004>
- Perdomo, M. (2012). *Importancia de la implementación de la regulación para el uso de energías renovables en Colombia* * Maria. 66, 32.
- PNUD-La Guajira. (2013). *Megaproyectos.Oportunidades de inclusión productiva para poblaciones en situación de pobreza y vulnerabilidad de La Guajira*. 125.
<https://www.undp.org/content/dam/colombia/docs/Pobreza/undp-co-megaproyectos-2013.pdf>.
- Portafolio. (2019). *Inauguran el parque solar más grande de Colombia | Infraestructura | Economía | Portafolio*. <https://www.portafolio.co/economia/infraestructura/inauguran-el-parque-solar-mas-grande-de-colombia-528264>
- Quintero, J., & Quintero, L. (2015). Energía mareomotriz potencial energético y medio ambiente. *Gestión y Ambiente*, 18(2), 121–134.
- RAS. (2010). Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable. In *Colombia. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. Reglamento*.
- RAS, R. T. para el S. de A. P. y S. B. (2017). *Resolución número 0330 de 2017*.
<http://www.minvivienda.gov.co/ResolucionesAgua/0330 - 2017.pdf>

RayAgua. (n.d.). *RayAgua - Air Water Generator y AWG / Air Water Generator (AWG) / Water Air Condensing / Water Sustainable Technologies / Water by Condensation / Water from the Atmosphere*. Retrieved February 19, 2020, from <http://www.rayagua.com/>

Rodríguez, P. (2016). *DISEÑO Y CÁLCULO DE UN DISPOSITIVO PARA LA OBTENCIÓN DE AGUA POTABLE POR CONDENSACIÓN DE LA HUMEDAD DEL AIR*. UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID ESCUELA.

Roy, P. C. (2004). Breve historia de la electricidad Un recorrido por los principales descubrimientos y avances en electricidad y por los. *Técnica Industrial Especial Electricidad y Electrónica*, 4–8.

Sanchez, J. maria. (2008). PROCESOS DE DESALACIÓN DESALACIÓN. In *LA DESALACION EN ESPAÑA* (Vol. 2, pp. 41–67). https://ecoagua.com/wp-content/uploads/2016/12/Art_publicados_ecoagua_4.pdf

Schallenberg, J. C., Gonzalo, R., Izquierdo, P., Hernández Rodríguez, C., Unamunzaga, P., Ramón, F., Déniz, G., Díaz, M., Delia, T., Pérez, C., Martel Rodríguez, G., Pardilla, J., Vicente, F., & Ortin, S. (2008). *Energías renovables y eficiencia energética*.

Torres, M. (2004). AVANCES TÉCNICOS EN LA DESALACIÓN Desaladora Almeria DE AGUAS. In *Octubre*. https://www.mapa.gob.es/ministerio/pags/biblioteca/revistas/pdf_AM/AM_2004_37_17_26.pdf

Torres, M. (2009). *La desalación de agua de mar, ¿recurso hídrico alternativo?* 133–148.

UNESCO, & OMM. (1997). ¿Hay suficiente agua en el mundo? *Organización Meteorológica Mundial /Organización de Las Naciones Unidas Para La Educación, La Ciencia y La Cultura.*, 24.

UPME, U. de P. M. E. (2005). Energías Renovables: Descripción, Tecnologías y Usos Finales.

Ministerio de Minas Y Energía, 45. <https://doi.org/9383-36-X>

Villalba, G. (2015). *MINERÍA IRRESPONSABLE EN EL CERREJÓN Y EFECTOS SOBRE LA NACIÓN WAYÚU: una perspectiva para la justicia internacional de los derechos humanos*". UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA.

WaterMicronWorld International. (n.d.). *WaterMicronWorld International*. Retrieved February 26, 2020, from <https://www.watermicronworld-international.com/>

Alcaldia Municipal de Manaure. (n.d.). *Nuestro municipio - Manaure, La Guajira*. Retrieved February 18, 2020, from <http://www.manaure-laguajira.gov.co/municipio/nuestro-municipio>

Álvarez, G. S., & Benavides, M. S. (2013). Desalación de agua de mar mediante sistema Osmosis Inversa y Energía Fotovoltaica para provisión de agua potable en Isla Damas, Región de Coquimbo. In *Unesco* (Vol. 1). <http://www.unesco.org.uy/phi/biblioteca/archive/files/e733e28fc539e3c010d06c64bf298dce.pdf>

Bonilla, E., & Martínez, R. (2017). DISEÑO DE UNA PLANTA DESALINIZADORA DE AGUA DE MAR. In *Археология* (Vol. 1). Universidad Santo Tomás.

BUN-CA, B. U. N. (2002). *Manuales sobre energía renovable: Solar Fotovoltaica* (BUN-CA (ed.); 1st ed.). <http://bun-ca.org/publicaciones/FOTOVOLT.pdf>

Cengel, Y. A., Boles, M. A., Campos Olguín, V., & Colli Serrano, M. T. (2003). Termodinamica. In *Elementi di Meccanica dei Fluidi, Termodinamica e Fisica Statistica* (7th ed.). https://doi.org/10.1007/978-88-470-3991-9_5

Cifuentes, L., Ortiz, R., & Casas, J. M. (2005). Electrowinning of copper in a lab-scale squirrel-

- cage cell with anion membrane. *AIChE Journal*, 51(8), 2273–2284.
- <https://doi.org/10.1002/aic.10476>
- Clayton, R. (2015). *Desalination for Water Supply*. FR/R0013(Third Edition), 52. www.fwr.org
- Consejo Territorial para la Gestión del Riesgo de Desastres. (2015). *Plan Municipal Para La Gestión Del Riesgo*. 163.
- Constitucion Nacional. (1991). *CONSTITUCIÓN POLÍTICA DE COLOMBIA 1991* (Issue Junio 13). <https://doi.org/10.12681/eadd/1834>
- Cortes, L., & Lesmes, L. (2014). *Simulación De Una Planta Desalinizadora De Agua De Mar, Por Medio Del Software Ims Desing Como Estrategia Para Fortalecer El Desarrollo Social Del Norte Caribe Colombiano-Municipio De Uribí-La Guajira* [Universidad Libre /Instituto Tecnológico de Sonora - Méxic].
- [https://repository.unilibre.edu.co/bitstream/handle/10901/11251/Proyecto Desalación Guajira-Colombia.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repository.unilibre.edu.co/bitstream/handle/10901/11251/Proyecto%20Desalaci3n%20Guajira-Colombia.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- De la Cruz, C. (2006). *La desalinización de agua de mar mediante el empleo de energías renovables* Carlos de la Cruz. Fundacion Alternativas.
- Dolores, M., Torres, G., Contreras, J. G., & Ortiz, A. M. (2015). *Condensación de la humedad del aire : solución a la escasez de agua en regiones de Colombia como La Guajira y San Andrés Isla*.
- E.Palmarroza. (2017). Análisis del impacto del agua y el territorio en las comunidades del área de influencia de la extracción minera de carbón en el Cerrejón, por la desviación del arroyo Bruno, en la cuenca del rio Ranchería, Departamento de La Guajira. (2010-2016). In *UNIVERSIDAD SANTO TOMAS DE AQUINO*.
- <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>

El Herald. (2018a). *Piden solución al problema del agua para La Guajira.*

<https://www.elheraldo.co/la-guajira/piden-solucion-al-problema-del-agua-para-la-guajira-490524>

El Herald. (2018b). *Termonorte entra a operar con inversión de USD100 millones.*

<https://www.elheraldo.co/economia/termonorte-entra-operar-con-inversion-de-usd100-millones-573400>

EPEC. (2012). *Energía renovable : la biomasa Conceptos y definiciones.*

<https://www.epec.com.ar/docs/educativo/institucional/biomasa.pdf>

EPM. (2002). Parque eolico piloto Jepirachi, informe final. *EMPRESAS PUBLICAS E MEDELLIN O*), 1, 275.

<http://documents.worldbank.org/curated/en/427541468248967090/pdf/multi0page.pdf>

EPRI. (2015). *Budgeting for Solar Pv Plant Operations & Maintenance : Practices. December.*

<https://doi.org/10.1038/nrdp.2015.84>

Givler, T., & Lilienthal, P. (2005). Using HOMER® Software , NREL's Micropower

Optimization Model, to Explore the Role of Gen-sets in Small Solar Power Systems Case Study: Sri Lanka. *National Renewable Energy Laboratory, May*, 1–31.

<http://www.nrel.gov/docs/fy05osti/36774.pdf>

Granda, E. E., Orta, O. A., Díaz, J. C., Jimenez, M. A., Osorio, M., & González, M. A. (2013).

MODELADO Y SIMULACIÓN DE CELDAS Y PANELES SOLARES E. *Congr. Int. Ing. Electrón. Mem. Electro 2013*, 35(October), 1–23. <https://doi.org/10.13140/2.1.4192.8968>

IDEAM. (2007). *Instituto de Hidrología , Meteorología y Estudios Ambientales .Pronóstico Pleamares y Bajamares Costa Caribe Colombiana.*

<http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/020230/PLEAMARES Y BAJAMA>

RES/Caribe.pdf

Jorroto, S., Sánchez, F., & Pulido, A. (2007). Desalación y sostenibilidad de acuíferos costeros:

El caso del delta del río Andarax. *Boletín Geológico y Minero*, 118(1), 695–708.

L.Martínez Quintero. (2014). “ANÁLISIS DE LA INCLUSIÓN Y PARTICIPACIÓN DE GRUPOS INDÍGENAS EN EL DESARROLLO DE PROYECTOS DE FUENTES DE ENERGÍA RENOVABLE.” In *UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER FACULTAD*. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>

Latorre, M. (2004). Costes económicos y medioambientales de la desalación de agua de mar. *IV*

Congreso Ibérico de Gestión y Planificación Del Agua, 16.

<http://hispagua.cedex.es/documentacion/documento/32563>

Lemming, J., Morthorst, P., Clausen, N.-E., & Jensen, P. (2015). Contribution to the Chapter on Wind Power Energy. In *Development* (Vol. 35, Issue January 2008).

López, I. (2016). *Estudio de una planta de desalación alimentada mediante energía eólica*. Universidad Superior de La Laguna.

López Juvinao, D. D. (2016). *Mucho más que carbón, el escenario minero de la guajira*. *May 2011*, 1–140.

Martínez Ortiz, A. (2019). La Guajira Caracterización Departamental y municipal. Informe presentado a Cerrejón Minería responsable. In *Cerrejon*. https://repository.fedesarrollo.org.co/bitstream/handle/11445/3736/Reporenergo_2019_Martinez.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Medina, S., & Antonio, J. (2000). *Desalación de aguas salobres y de mar. Ósmosis inversa*. <https://www.agroatiende.odepa.gov.cl/handle/123456789/57816>

Minivivienda. (2018). *Portal Minivivienda Con Pilas Publicas Gobierno Nacional llevara agua*

- potable a 80 mil personas en La Guajira*. <http://www.minvivienda.gov.co/sala-de-prensa/noticias/2018/septiembre/con-pilas-publicas-gobierno-nacional-llevara-agua-potable-a-80-mil-personas-en-la-guajira>
- Musthafa, O., Chahd, M., Ibrahim, M., Amal, A., & AlMarzooqi, F. (2019). Brine management in desalination industry: From waste to resources generation. *Desalination*, 472(September), 18. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2019.114187>
- NOAA, N. O. and A. A. (2020). *2019 was 2nd hottest year on record for Earth say NOAA, NASA*. <https://www.noaa.gov/news/2019-was-2nd-hottest-year-on-record-for-earth-say-noaa-nasa>
- Noticias RCN. (2014). *Crisis humanitaria en La Guajira por falta de agua*. <https://noticias.canalrcn.com/nacional-regiones-caribe/crisis-humanitaria-guajira-falta-agua>
- Ong, S., Campbell, C., Denholm, P., Margolis, R., & Heath, G. (2006). Land-Use Requirements for Solar Power Plants in the United State. *National Renewable Energy Laboratory*, 31(6), 589–590. <https://doi.org/10.1016/j.rapm.2006.08.004>
- Perdomo, M. (2012). *Importancia de la implementación de la regulación para el uso de energías renovables en Colombia* * Maria. 66, 32.
- PNUD-La Guajira. (2013). *Megaproyectos.Oportunidades de inclusión productiva para poblaciones en situación de pobreza y vulnerabilidad de La Guajira*. 125. <https://www.undp.org/content/dam/colombia/docs/Pobreza/undp-co-megaproyectos-2013.pdf>.
- Portafolio. (2019). *Inauguran el parque solar más grande de Colombia | Infraestructura | Economía | Portafolio*. <https://www.portafolio.co/economia/infraestructura/inauguran-el-parque-solar-mas-grande-de-colombia-528264>

- Quintero, J., & Quintero, L. (2015). Energía mareomotriz potencial energético y medio ambiente. *Gestión y Ambiente*, 18(2), 121–134.
- RAS. (2010). Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable. In *Colombia. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. Reglamento*.
- RAS, R. T. para el S. de A. P. y S. B. (2017). *Resolución número 0330 de 2017*.
<http://www.minvivienda.gov.co/ResolucionesAgua/0330 - 2017.pdf>
- RayAgua. (n.d.). *RayAgua - Air Water Generator y AWG / Air Water Generator (AWG) / Water Air Condensing / Water Sustainable Technologies / Water by Condensation / Water from the Atmosphere*. Retrieved February 19, 2020, from <http://www.rayagua.com/>
- Rodríguez, P. (2016). *DISEÑO Y CÁLCULO DE UN DISPOSITIVO PARA LA OBTENCIÓN DE AGUA POTABLE POR CONDENSACIÓN DE LA HUMEDAD DEL AIR*. UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID ESCUELA.
- Roy, P. C. (2004). Breve historia de la electricidad Un recorrido por los principales descubrimientos y avances en electricidad y por los. *Técnica Industrial Especial Electricidad y Electrónica*, 4–8.
- Sanchez, J. maria. (2008). PROCESOS DE DESALACIÓN DESALACIÓN. In *LA DESALACION EN ESPAÑA* (Vol. 2, pp. 41–67). https://ecoagua.com/wp-content/uploads/2016/12/Art_publicados_ecoagua_4.pdf
- Schallenberg, J. C., Gonzalo, R., Izquierdo, P., Hernández Rodríguez, C., Unamunzaga, P., Ramón, F., Déniz, G., Díaz, M., Delia, T., Pérez, C., Martel Rodríguez, G., Pardilla, J., Vicente, F., & Ortin, S. (2008). *Energías renovables y eficiencia energética*.
- Torres, M. (2004). AVANCES TÉCNICOS EN LA DESALACIÓN Desaladora Almeria DE AGUAS. In *Octubre*.

https://www.mapa.gob.es/ministerio/pags/biblioteca/revistas/pdf_AM/AM_2004_37_17_26.pdf

Torres, M. (2009). *La desalación de agua de mar, ¿recurso hídrico alternativo?* 133–148.

UNESCO, & OMM. (1997). ¿Hay suficiente agua en el mundo? *Organización Meteorológica Mundial /Organización de Las Naciones Unidas Para La Educación, La Ciencia y La Cultura.*, 24.

UPME, U. de P. M. E. (2005). Energías Renovables: Descripción, Tecnologías y Usos Finales. *Ministerio de Minas Y Energía*, 45. <https://doi.org/9383-36-X>

Villalba, G. (2015). *MINERÍA IRRESPONSABLE EN EL CERREJÓN Y EFECTOS SOBRE LA NACIÓN WAYÚU: una perspectiva para la justicia internacional de los derechos humanos*”. UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA.

WaterMicronWorld International. (n.d.). *WaterMicronWorld International*. Retrieved February 26, 2020, from <https://www.watermicronworld-international.com/>

Anexos

Simulación en Homer

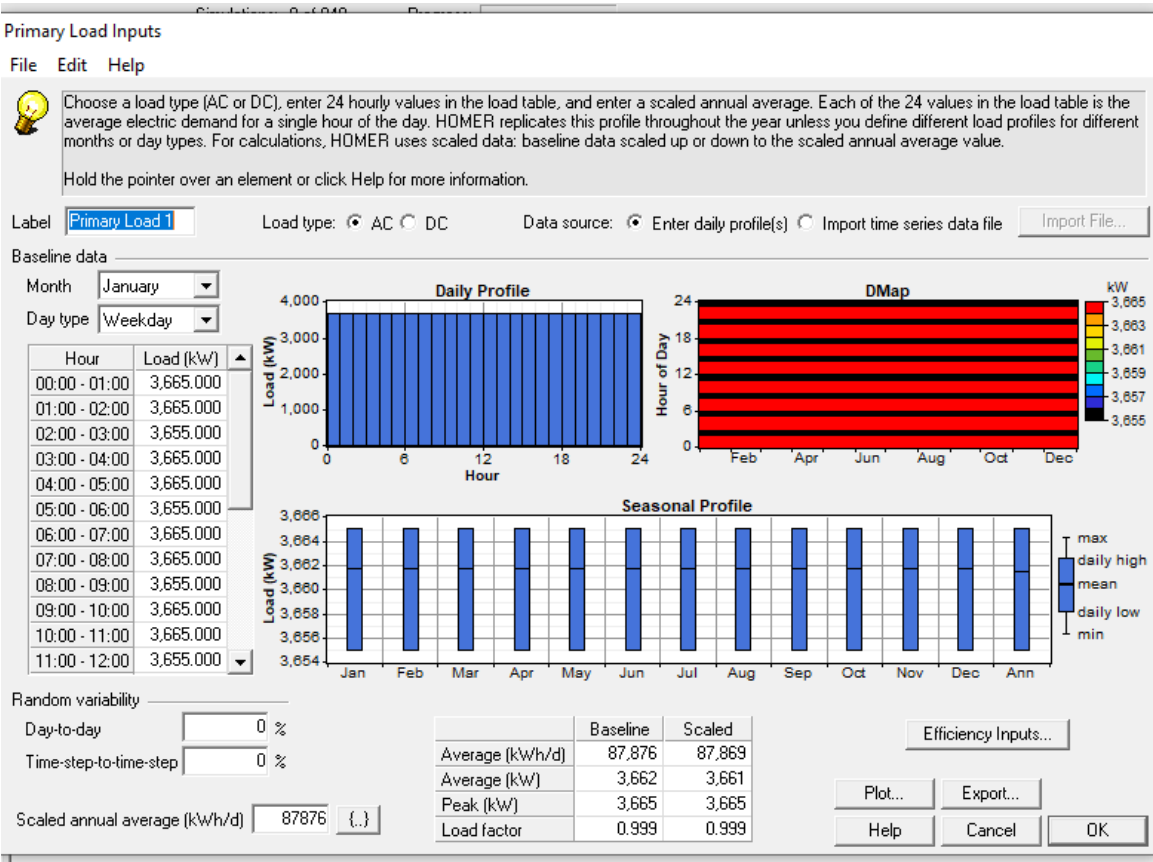


Figura 0.1 Demanda de la población.

PV Inputs
File Edit Help

Enter at least one size and capital cost value in the Costs table. Include all costs associated with the PV (photovoltaic) system, including modules, mounting hardware, and installation. As it searches for the optimal system, HOMER considers each PV array capacity in the Sizes to Consider table.

Note that by default, HOMER sets the slope value equal to the latitude from the Solar Resource Inputs window.

Hold the pointer over an element or click Help for more information.

Costs

Size (kW)	Capital (\$)	Replacement (\$)	O&M (\$/yr)
1000.000	812065	812065	24361

{.}

Sizes to consider

Size (kW)
0.000
1000.000
5000.000
10000.000
50000.000
100000.000
150000.000

Cost Curve

Properties

Output current ☒ AC ☐ DC

Lifetime (years) {.}

Derating factor (%) {.}

Slope (degrees) {.}

Azimuth (degrees W of S) {.}

Ground reflectance (%) {.}

Advanced

Tracking system

☐ Consider effect of temperature

Temperature coeff. of power (%/°C) {.}

Nominal operating cell temp. (°C) {.}

Efficiency at std. test conditions (%) {.}

Help Cancel OK

Figura 0.2 Especificaciones del panel solar

Wind Turbine Inputs
File Edit Help

Choose a wind turbine type and enter at least one quantity and capital cost value in the Costs table. Include the cost of the tower, controller, wiring, installation, and labor. As it searches for the optimal system, HOMER considers each quantity in the Sizes to Consider table.

Hold the pointer over an element or click Help for more information.

Turbine type: **Nordex N60** Details... New... Delete

Turbine properties

Abbreviation: AIR (used for column headings)
 Rated power: 1,300 kW AC
 Manufacturer: Nordex
 Website: www.thewindpower.net

Costs

Quantity	Capital (\$)	Replacement (\$)	O&M (\$/yr)
1	1112800	1112800	33384
	{.}	{.}	{.}

Other

Lifetime (yrs): 20 {.
 Hub height (m): 50 {.

Sizes to consider

Quantity: 0, 1, 4, 7, 10, 12, 15

Power Curve

Cost Curve

Cost (000 \$) vs Quantity

Legend: Capital (red line), Replacement (blue line)

Help Cancel OK

Figura 0.3 Especificaciones del Aerogenerador

Generator Inputs
File Edit Help

Choose a fuel, and enter at least one size, capital cost and operation and maintenance (O&M) value in the Costs table. Note that the capital cost includes installation costs, and that the O&M cost is expressed in dollars per operating hour. Enter a nonzero heat recovery ratio if heat will be recovered from this generator to serve thermal load. As it searches for the optimal system, HOMER will consider each generator size in the Sizes to Consider table.

Hold the pointer over an element or click Help for more information.

Cost Fuel Schedule Emissions

Costs

Size (kW)	Capital (\$)	Replacement (\$)	O&M (\$/hr)
9300.000	10000000	10000000	10.000

{.}

Properties

Description: Generator 1 Type: ☒ AC ☐ DC

Abbreviation: Label

Lifetime (operating hours): 15000 {.}

Minimum load ratio (%): 30 {.}

Sizes to consider

Size (kW)

- 0.000
- 1000.000
- 3000.000
- 6000.000
- 9000.000
- 12000.000
- 15000.000

Cost Curve

Cost (000 \$)

Size (kW)


— Capital — Replacement

Help Cancel OK

Figura 0.4 Especificaciones del generador Diesel

Solar Resource Inputs

File Edit Help

 HOMER uses the solar resource inputs to calculate the PV array power for each hour of the year. Enter the latitude, and either an average daily radiation value or an average clearness index for each month. HOMER uses the latitude value to calculate the average daily radiation from the clearness index and vice-versa.

Hold the pointer over an element or click Help for more information.

Location

Latitude ° ☐ North ☐ South Time zone

Longitude ° ' ☐ East ☒ West

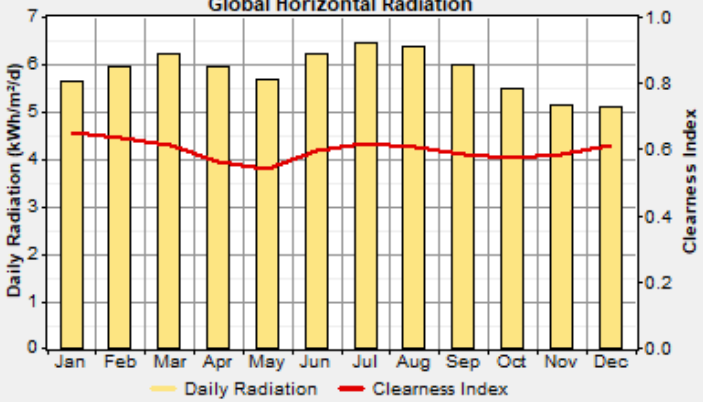
Data source: ☒ Enter monthly averages ☐ Import time series data file

Baseline data

Month	Clearness Index	Daily Radiation (kWh/m ² /d)
January	0.654	5.660
February	0.634	5.950
March	0.613	6.220
April	0.564	5.950
May	0.540	5.690
June	0.597	6.220
July	0.618	6.450
August	0.609	6.380
September	0.586	5.990
October	0.575	5.500
November	0.587	5.160
December	0.611	5.120
Average:	0.598	5.857

Scaled annual average (kWh/m²/d)

Global Horizontal Radiation



Plot... Export... Help Cancel OK

ve changed the inputs since HOMER calculated these results

Figura 0.5 Recurso solar

Wind Resource Inputs

File Edit Help

HOMER uses wind resource inputs to calculate the wind turbine power each hour of the year. Enter the average wind speed for each month. For calculations, HOMER uses scaled data: baseline data scaled up or down to the scaled annual average value. The advanced parameters allow you to control how HOMER generates the 8760 hourly values from the 12 monthly values in the table.

Hold the pointer over an element or click Help for more information.

Data source: ☐ Enter monthly averages ☒ Import time series data file

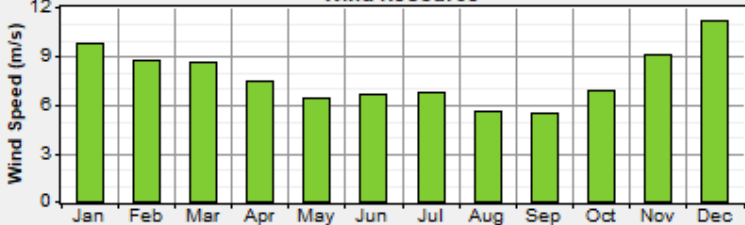
Baseline data (from idean viento.txt)

Month	Wind Speed (m/s)
January	9.751
February	8.698
March	8.571
April	7.507
May	6.427
June	6.640
July	6.763
August	5.621
September	5.429
October	6.873
November	9.098
December	11.147

Annual average: 7.708

Scaled annual average (m/s)

Wind Resource



Other parameters: Altitude (m above sea level) Anemometer height (m)

Advanced parameters: Weibull k Autocorrelation factor Diurnal pattern strength Hour of peak windspeed

Figura 0.6 Recurso Eólico

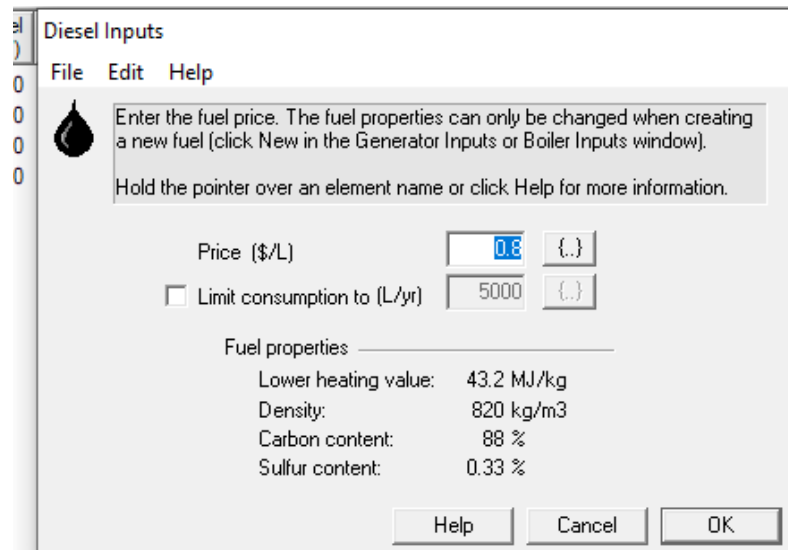


Figura 0.7 Diesel

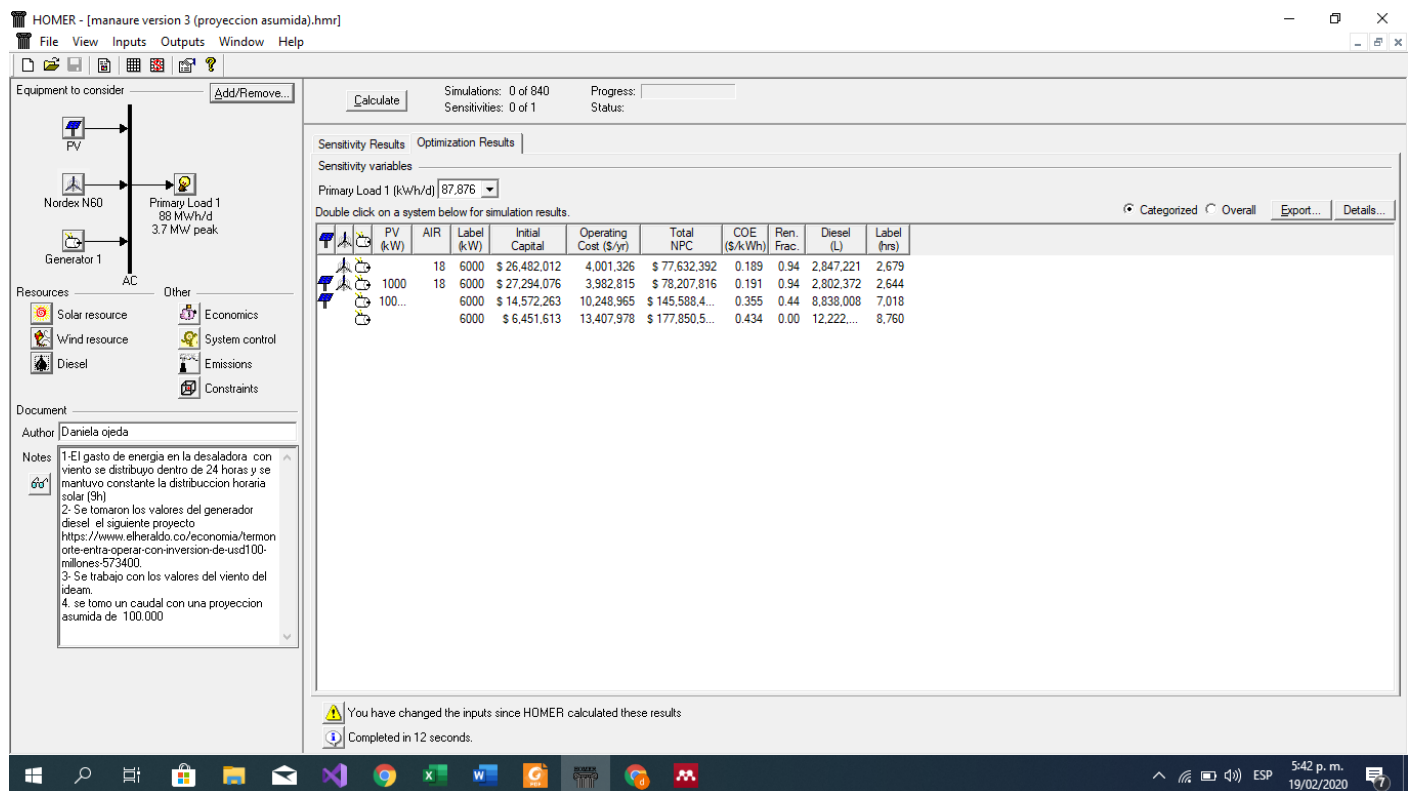


Figura 0.8 Optimización de los resultados